DIE NATURWISSENSCHAFTEN

31. Jahrgang | 2. April 1943 | Heft 14/15

Zur Geschichte der Auffindung des physikalischen Wirkungsquantums.

Von MAX PLANCK, Berlin.

Da mit dem Auftreten des elementaren Wirkungsquantums eine neue Epoche in der physikalischen Wissenschaft anhebt, fühle ich gegenüber den Physikern einer späteren Generation das Bedürfnis und die Verpflichtung, den mehrfach verschlungenen Weg, auf dem ich zur Berechnung dieser universellen Konstanten gelangt bin, so wie er sich in meinem Gedächtnis spiegelt, in einer zusammenfassenden Darstellung nach bestem Wissen zu schildern.

I.

Zu diesem Zweck muß ich zunächst etwas weiter, bis zu meinen Universitätsstudienjahren, zurückgreifen. Was mich in der Physik von jeher vor allem interessierte, waren die großen allgemeinen Gesetze, die für sämtliche Naturvorgänge Bedeutung besitzen, unabhängig von den Eigenschaften der an den Vorgängen beteiligten Körper, und von den Vorstellungen, die man sich über ihre Struktur bildet. Daher fesselten mich in besonderem Maße die beiden Hauptsätze der Thermodynamik. Während aber der erste Hauptsatz, der Satz der Erhaltung der Energie, einen sehr einfachen und leicht faßlichen Sinn besitzt und daher keinen Anlaß zu besonderen Erläuterungen darbietet, bedarf das richtige Verständnis des zweiten Hauptsatzes eines genauen Studiums. Ich lernte diesen Satz in meinem letzten Studienjahr (1878) durch die Lektüre der Schriften von R. CLAUSIUS kennen, die mich ohnedies durch die ausgezeichnete Klarheit und Überzeugungskraft der Sprache besonders anzogen[1]). CLAUSIUS leitete den Beweis seines zweiten Hauptsatzes aus der Hypothese ab, daß „die Wärme nicht von selbst aus einem kälteren in einen wärmeren Körper übergeht". Diese Hypothese bedarf aber einer besonderen Erläuterung. Denn mit ihr soll nicht nur ausgedrückt werden, daß die Wärme nicht direkt aus einem kälteren in einen wärmeren Körper übergeht, sondern auch, daß es auf keinerlei Weise möglich ist, Wärme aus einem kälteren Körper in einen wärmeren Körper zu schaffen, etwa durch einen passend ersonnenen Kreisprozeß, ohne daß in der Natur irgendeine sonstige, als Kompensation dienende, Veränderung eintritt, welche die Eigenschaft hat, daß sie nicht rückgängig werden kann, ohne eine andere bleibende Veränderung zurückzulassen. Nur wenn man diese weitergehende Behauptung der Hypothese zur Voraussetzung macht, ist es möglich, den allgemeinen Beweis des zweiten Hauptsatzes zu führen. Die vielfachen Angriffe, welche der CLAUSIUSsche Beweis erfahren hat, beruhen zum wesentlichen Teil auf einer Verkennung des vollständigen Inhaltes seiner Hypothese.

In dem Bestreben, mir über diesen Punkt möglichste Klarheit zu schaffen, kam ich auf eine Formulierung der Hypothese, die mir einfacher und bequemer zu sein schien. Sie lautet: „Der Prozeß der Wärmeleitung läßt sich auf keinerlei Weise vollständig rückgängig machen". Damit ist dasselbe ausgedrückt wie durch die CLAUSIUSsche Fassung, ohne daß es einer besonderen Erläuterung bedarf. Man muß nur die Worte „auf keinerlei Weise" und „vollständig" gehörig beachten. Sie wollen besagen, daß man bei dem Versuch, den Prozeß rückgängig zu machen, ganz beliebige Hilfsmittel benutzen darf, mechanische, thermische, elektrische, chemische, nur mit der Bedingung, daß nach Beendigung des angewandten Verfahrens die benutzten Hilfsmittel sich wieder genau in dem nämlichen Zustande befinden wie am Anfang, als man sie in Benutzung nahm. Einen Prozeß, der sich auf keinerlei Weise vollständig rückgängig machen läßt, nannte ich „natürlich", heute heißt er „irreversibel".

Aber der Fehler, den man durch die allzu enge Interpretation des CLAUSIUSschen Satzes begeht und den ich mein Leben lang zu bekämpfen suchte, ist, wie es scheint, vorläufig immer noch nicht auszurotten. Denn bis auf den heutigen Tag begegne ich statt der obigen Definition der Irreversibilität der folgenden: „Irreversibel ist ein Prozeß, der nicht in umgekehrter Richtung verlaufen kann". Das ist nicht ausreichend. Denn von vorneherein ist es sehr wohl denkbar, daß ein Prozeß, der nicht in umgekehrter Richtung verlaufen kann, auf irgendeine Weise, durch eine passend konstruierte Maschinerie, sich vollständig rückgängig machen läßt. Auf diesem tieferen Sinn der Irreversibilität beruht es gerade, daß der zweite Hauptsatz nicht nur für die Wärmeerscheinungen, sondern für alle beliebigen Naturvorgänge Bedeutung besitzt.

Nach Maßgabe der vorstehenden Definition zerfallen sämtliche Vorgänge in der Natur in zwei Klassen: in reversible und irreversible Prozesse (ich sagte damals: neutrale und natürliche Prozesse), je nachdem sie sich auf irgendeine Weise vollständig rückgängig machen lassen oder nicht. Daraus folgt, was nun das wesentliche ist, daß die Entscheidung darüber, ob ein Naturvorgang irreversibel oder reversibel ist, nur von der Beschaffenheit des Anfangszustandes und des Endzustandes abhängt. Über die Art und über den Verlauf des Vorganges braucht man gar nichts zu wissen.

[1]) R. CLAUSIUS, Die mechanische Wärmetheorie. 2. Aufl. 1. Braunschweig: Friedrich Vieweg u. Sohn 1876.

Im ersten Falle, dem der irreversiblen Prozesse, ist der Endzustand in einem gewissen Sinne vor dem Anfangszustand ausgezeichnet, die Natur besitzt sozusagen eine größere „Vorliebe" für ihn. Im zweiten Falle, dem der reversiblen Prozesse, sind die beiden Zustände gleichberechtigt. Als ein Maß für die Größe dieser Vorliebe ergab sich die CLAUSIUSsche Entropie, und als Sinn des zweiten Hauptsatzes das Gesetz, daß bei jedem Naturvorgang die Summe der Entropien aller an dem Vorgang beteiligten Körper zunimmt, im Grenzfall, für einen reversiblen Vorgang, unverändert bleibt. Die vorstehenden Ausführungen verarbeitete ich zu meiner Münchener Doktordissertation[1]).

Der Eindruck dieser Schrift in der damaligen physikalischen Öffentlichkeit war gleich Null. Von meinen Universitätslehrern hatte, wie ich aus Gesprächen mit ihnen gnnau weiß, keiner ein Verständnis für ihren Inhalt. Sie ließen sie wohl nur deshalb als Dissertation passieren, weil sie mich von meinen sonstigen Arbeiten im physikalischen Praktikum und im mathematischen Seminar her kannten. Aber auch bei solchen Physikern, welche dem Thema an sich näher standen, fand ich kein Interesse, geschweige denn Beifall. HELMHOLTZ hat die Schrift wohl überhaupt nicht gelesen, KIRCHHOFF lehnte ihren Inhalt ausdrücklich ab, mit der Bemerkung, daß der Begriff der Entropie, deren Größe nur durch einen reversiblen Prozeß meßbar und daher auch definierbar sei, nicht auf irreversible Vorgänge angewendet werden dürfe. An CLAUSIUS gelang es mir nicht, heranzukommen, er war in persönlicher Beziehung sehr zurückhaltend. Ein einmal unternommener Versuch, mich ihm in Bonn vorzustellen, führte zu keinem Ergebnis, weil ich ihn nicht zu Hause antraf.

Solche Erfahrungen hinderten mich jedoch nicht, tief durchdrungen von der Bedeutung dieser Aufgabe, das Studium der Entropie, die ich neben der Energie als die wichtigste Eigenschaft eines physikalischen Gebildes betrachtete, weiter fortzusetzen. Da ihr Maximum das endgültige Gleichgewicht bezeichnet, so ergaben sich aus der Kenntnis der Entropie alle Gesetze des physikalischen und des chemischen Gleichgewichts. Dies führte ich in den folgenden Jahren in verschiedenen Arbeiten im einzelnen durch, zuerst für Aggregatzustandsänderungen, dann für Gasgemische und endlich für Lösungen. Überall zeigten sich fruchtbare Ergebnisse. Leider war mir aber darin, wie ich erst später entdeckte, der große amerikanische Theoretiker JOHN WILLARD GIBBS zuvorgekommen, der die nämlichen Sätze, sogar in teilweise noch allgemeinerer Fassung, schon früher formuliert hatte[2]), so daß mir auch auf diesem Boden keine besonderen äußeren Erfolge beschieden waren.

[1]) Über den zweiten Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie. München: Th. Ackermann 1879.

[2]) J. W. GIBBS, Transactions of the Connecticut Academy 1873, 1876, 1878. Deutsche Übersetzung von WILH. OSTWALD, mit dem Titel Thermodynamische Studien. Leipzig: W. Engelmann 1892.

II.

Dagegen stieß ich in dem Gebiet der strahlenden Wärme auf Neuland. Schon im Jahre 1860 hatte G. KIRCHHOFF den Satz kennen gelehrt, daß in einem evakuierten, von total reflektierenden Wänden begrenzten Hohlraum, der ganz beliebige emittierende und absorbierende Körper enthält, sich mit der Zeit durch irreversible Vorgänge ein stationärer Strahlungszustand herausbildet, der von einer einzigen Variablen, der allen Körpern gemeinsamen Temperatur T, abhängt. Es ist der nämliche Strahlungszustand, der in dem Vakuum herrscht, wenn die umgebenden Wände schwarz sind und die betreffende Temperatur besitzen. Ihm entspricht eine ganz bestimmte Verteilung der Strahlungsenergie auf die einzelnen Schwingungszahlen ν des Spektrums. Diese sog. normale Energieverteilung wird also durch eine universelle, von keinerlei Material abhängige Funktion von T und ν dargestellt, und da nach meiner Überzeugung ein Naturgesetz um so einfacher lautet, je umfassender es ist, so schien mir die Aufgabe besonders verlockend, nach dieser Funktion zu suchen.

Hierfür bot sich als direkter Weg die Benutzung der MAXWELLschen elektromagnetischen Lichttheorie, die sich einige Jahre vorher, Dank der großen HERTZschen Entdeckung, den endgültigen Sieg errungen hatte. Ich dachte mir also den evakuierten Hohlraum erfüllt mit elektrisch schwingenden, Energie ausstrahlenden und absorbierenden Körpern und wählte, da es auf ihre Beschaffenheit nicht ankommt, solche von möglichst einfacher Natur aus, nämlich lineare Resonatoren oder Oszillatoren von bestimmter Eigenfrequenz ν und schwacher, nur durch Strahlung bewirkter Dämpfung. Meine Hoffnung ging dahin, daß für einen beliebig angenommenen Anfangszustand dieses Gebildes die Anwendung der MAXWELLschen Theorie auf irreversible Strahlungsvorgänge führen würde, die in einen stationären Zustand, den des thermodynamischen Gleichgewichts, ausmünden müßten, in welchem die Hohlraumstrahlung die gesuchte normale, der Strahlung des schwarzen Körpers entsprechende Energieverteilung besitzt.

Demgemäß begann ich zunächst eine Untersuchung der Absorption und Emission elektrischer Wellen durch Resonanz[1]). Dabei war ich der Meinung, daß die Wechselwirkung zwischen einem durch eine elektrodynamische Welle erregten, Energie absorbierenden und emittierenden Oszillator und der ihn erregenden Welle einen irreversiblen Vorgang darstellt[2]). Diese Meinung, so allgemein ausgesprochen, ist aber irrig, worauf L. BOLTZMANN alsbald ausdrücklich hingewiesen hat[3]). Denn der ganze Vorgang kann ebensogut auch in

[1]) Sitzgsber. Berl. Akad. Wiss. vom 21. III. 1895.

[2]) Sitzgsber. Berl. Akad. Wiss. vom 4. II. 1897, S. 59.

[3]) L. BOLTZMANN, Sitzgsber. Berl. Akad. Wiss. vom 17. VI. 1897.

gerade umgekehrter Richtung verlaufen. Man braucht nur in irgendeinem Zeitpunkt das Vorzeichen aller magnetischen Feldstärken, mit Beibehaltung der elektrischen Feldstärken, umzukehren. Dann saugt der Oszillator die in konzentrischen Kugelwellen emittierte Energie in ebensolchen Kugelwellen wieder ein und gibt die von der erregenden Strahlung absorbierte Energie wieder von sich. Von Irreversibilität kann also bei einem derartigen Vorgang nicht die Rede sein.

Um daher in der Theorie der Wärmestrahlung auf dem eingeschlagenen Weg überhaupt weiterzukommen, ist die Einführung einer einschränkenden Bedingung notwendig, welche derartige singuläre, in der Natur wohl niemals stattfindende Vorgänge, wie konzentrische einwärts gerichtete Kugelwellen, und damit auch die Möglichkeit einer gleichzeitigen Umkehrung des Vorzeichens aller magnetischen Feldstärken, von vornherein ausschließt. Diesen Schritt vollzog ich durch die Aufstellung der Hypothese der „natürlichen Strahlung“[1]), deren Inhalt darauf hinausläuft, daß die einzelnen harmonischen Partialschwingungen, aus denen sich eine Wärmestrahlungswelle zusammensetzt, vollständig inkohärent sind. Auf der Grundlage dieser Hypothese entwickelte ich dann die Gesetze der Strahlungsvorgänge in einem von linearen Oszillatoren mit bestimmten Eigenfrequenzen und schwacher Dämpfung erfüllten evakuierten Hohlraum, zuerst für eine Hohlkugel, in deren Zentrum sich ein solcher Oszillator befindet, weil sich dann die Differentialgleichungen des Vorganges leicht integrieren lassen, dann zusammenfassend für den allgemeinen Fall eines beliebigen Hohlraumes mit beliebig vielen Oszillatoren[2]). Als Resultat dieser Untersuchung ergab sich der Satz, daß die Wechselwirkungen eines Oszillators und der ihn erregenden Strahlung in der Tat stets einen irreversiblen Vorgang bilden, der im wesentlichen darin besteht, alle anfangs vorhandenen räumlichen und zeitlichen Schwankungen der Strahlungsintensität mit der Zeit auszugleichen. Wenn schließlich der stationäre Zustand eingetreten ist, so besitzt die Energie eines Oszillators von der Eigenfrequenz ν und beliebigem Dämpfungsdekrement den Wert[3]):

$$U = \frac{c^2}{\nu^2} \cdot \mathfrak{K}_\nu , \tag{1}$$

wo c die Lichtgeschwindigkeit und $\mathfrak{K}_\nu \cdot d\nu \cdot d\sigma \cdot d\Omega \cdot dt$ die Energiemenge ist, welche ein linear polarisierter Strahl innerhalb des Spektralbezirks $d\nu$ durch irgendein im durchstrahlten Vakuum gelegenes Flächenelement $d\sigma$ senkrecht dazu innerhalb des Öffnungswinkels $d\Omega$ in der Zeit dt hindurchsendet. Das Wesentliche dieser Gleichung, welche mir unentbehrliche Dienste geleistet hat, besteht darin, daß nach ihr die Energie des mitschwingenden Oszillators nur von der Strahlungsintensität $\mathfrak{K}_\nu$ und seiner Schwingungszahl ν, nicht aber von seiner sonstigen Beschaffenheit abhängt.

Als Folge der Irreversibilität dieser Vorgänge läßt sich nun leicht eine Zustandsfunktion angeben, deren Wert mit der Zeit stets zunimmt, und die man daher als Entropie deuten kann. Die Entropie des ganzen betrachteten Gebildes setzt sich zusammen aus der Summe der Entropien aller Oszillatoren und der Entropie der Hohlraumstrahlung. Für die Entropie eines Oszillators setzte ich[1]):

$$S = -\frac{U}{a\nu} \cdot \log \frac{U}{eb\nu}, \tag{2}$$

wo a und b zwei universelle Konstante sind und e, die Basis der natürlichen Logarithmen, nur aus Zweckmäßigkeitsrücksichten der Konstanten b als Faktor beigefügt ist, während der Ausdruck der Entropie der Hohlraumstrahlung sich ganz analog aus der Annahme ergab, daß jeder Strahl zugleich mit seiner Energie eine entsprechende Entropie mit sich führt, wodurch dann analog der räumlichen Energiedichte eine räumliche Entropiedichte bestimmbar wird.

Auf Grund dieser Festsetzungen konnte ich den Nachweis führen, daß die Entropie des Gesamtgebildes bei jedem beliebig gewählten Anfangszustand sowohl der Oszillatoren als auch der Hohlraumstrahlung mit der Zeit zunimmt. Der stationäre Endzustand, der des thermodynamischen Gleichgewichts, in welchem die Entropie ihr Maximum erreicht, hängt in allen seinen Teilen von einem einzigen Parameter T ab, der gegeben ist durch die Beziehung:

$$\frac{dS}{dU} = \frac{1}{T}, \tag{3}$$

und der daher, thermodynamisch gesprochen, die absolute Temperatur bezeichnet. Substituiert man in dieser Gleichung den Wert von S aus (2) und berücksichtigt die Beziehung (1), so ergibt sich für die Strahlungsintensität der Schwingungszahl ν:

$$\mathfrak{K}_\nu = \frac{b\nu^3}{c^2} \cdot e^{-\frac{a\nu}{T}}. \tag{4}$$

Dies ist das von W. WIEN schon im Jahre 1896 aufgestellte Gesetz der normalen Energieverteilung, welches durch alle damals (Mai 1899) vorliegenden Messungen im wesentlichen bestätigt wurde. Somit schien alles in befriedigender Ordnung zu sein.

Aber schon bald darauf machten zuerst O. LUMMER und E. PRINGSHEIM, später auch F. PASCHEN, auf gewisse Abweichungen vom WIENschen Verteilungsgesetz aufmerksam, welche sie bei der Ausdehnung ihrer Versuche auf größere Wellenlängen gefunden hatten und welche im Laufe der beständig gesteigerten Genauigkeit der Messungen so deutlich wurden, daß an der allgemeinen Gültigkeit der Formel (4) ernstliche Zweifel aufsteigen mußten. Das veranlaßte mich, zu prüfen, ob nicht der Ausdruck (2) der Entropie eines

[1]) Sitzgsber. Berl. Akad. Wiss. vom 7. VII. 1898.
[2]) Sitzgsber. Berl. Akad. Wiss. vom 18. V. 1899.
[3]) a. a. O. Gleichung (34).

[1]) a. a. O. Gleichung (41).

Oszillators durch einen besseren ersetzt werden kann.

Bei der eingehenden Beschäftigung mit diesem Problem fügte es das Schicksal, daß ein früher von mir als unliebsam empfundener äußerer Umstand: der Mangel an Interesse der Fachgenossen für die von mir eingeschlagene Forschungsrichtung, jetzt gerade umgekehrt meiner Arbeit als eine gewisse Erleichterung zugute kam. Damals hatten sich nämlich eine ganze Anzahl hervorragender Physiker sowohl von der experimentellen als auch von der theoretischen Seite her dem Problem der Energieverteilung im Normalspektrum zugewandt. Aber alle suchten nur in der Richtung, die Strahlungsintensität $\mathfrak{K}_\nu$ als Funktion der Temperatur T darzustellen, während ich in der Abhängigkeit der Entropie S von der Energie U den tieferen Zusammenhang vermutete. Da die Bedeutung des Entropiebegriffs damals noch nicht die ihm zukommende Würdigung gefunden hatte, so kümmerte sich niemand um die von mir benutzte Methode, und ich konnte in aller Muße und Gründlichkeit meine Berechnungen anstellen, ohne von irgendeiner Seite eine Störung oder Überholung befürchten zu müssen.

Um nun einen tieferen Einblick in die Eigenschaften der Entropie zu gewinnen, berechnete ich zunächst ganz allgemein, ohne von der Beziehung (2) Gebrauch zu machen, die Entropieänderung, welche im ganzen eintritt, wenn ein in einem stationären Strahlungsfeld befindlicher Oszillator, dessen Energie um einen kleinen Betrag ΔU ihren dem Strahlungsfeld entsprechenden Wert übersteigt, die Energie dU aus dem Strahlungsfeld aufnimmt. Diese Entropieänderung ergab sich zu[1])

$$\frac{3}{5}\cdot\frac{d^2S}{dU^2}\cdot\Delta U\cdot dU.$$

Da nun bei einer in der Natur wirklich eintretenden Veränderung dU und ΔU jedenfalls entgegengesetzte Vorzeichen haben, und da dann nach dem zweiten Wärmesatz der vorstehende Ausdruck stets positiv ist, so folgt notwendig:

$$\frac{d^2S}{dU^2}<0.$$

In der Tat liefert der Ausdruck (2) der Entropie, welcher zum WIENschen Verteilungsgesetz führt:

$$\frac{d^2S}{dU^2}=-\frac{1}{a\nu U}. \tag{5}$$

Die auffallende Einfachheit dieser Beziehung legte mir den Gedanken nahe, sie durch eine passende anschauliche Überlegung direkt abzuleiten. Eine solche führte ich auch durch und gelangte auf diese Weise von einer anderen Seite her wieder zur Beziehung (2) und damit zum WIENschen Verteilungsgesetz. Ich sehe aber hier von ihrer Wiedergabe ab, weil die Überlegung zwar einigermaßen plausibel, aber keineswegs zwingend ist. Daß sie in Wirklichkeit nicht zutrifft, ergibt sich aus der Tatsache, daß das WIENsche Verteilungsgesetz durch die Messungen nicht allgemein bestätigt wird[1]). So waren meine Versuche, die Formel (2) zu verbessern, an einem toten Punkt angelangt, und ich stand im Begriff, sie endgültig aufzugeben.

Da trat ein Ereignis ein, welches in dieser Angelegenheit eine entscheidende Wendung bringen sollte. In der Sitzung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft vom 19. Oktober 1900 teilte F. KURLBAUM die Resultate der von ihm in Gemeinschaft mit H. RUBENS für sehr große Wellenlängen ausgeführten Energiemessungen mit, aus denen unter anderem hervorging, daß mit steigender Temperatur die Strahlungsintensität des schwarzen Körpers immer angenäherter proportional der Temperatur T wird, im krassen Gegensatz zum WIENschen Verteilungsgesetz (4), nach welchem die Strahlungsintensität stets endlich bleiben müßte. Da mir dieses Ergebnis schon einige Tage vor der Sitzung durch mündliche Mitteilung von seiten der Autoren bekannt geworden war, so hatte ich Zeit, noch vor der Sitzung die Folgerungen daraus auf meine Weise zu ziehen und zur Berechnung der Entropie eines mitschwingenden Oszillators zu verwerten. Wenn für hohe Temperaturen T die Strahlungsintensität $\mathfrak{K}_\nu$ proportional der Temperatur wird, so ist nach (1) auch die Energie des Oszillators ihr proportional, also:

$$U=C\cdot T,$$

und daraus nach (3) durch Integration:

$$S=C\cdot\log U.$$

Folglich

$$\frac{d^2S}{dU^2}=-\frac{C}{U^2}. \tag{6}$$

Diese Beziehung tritt also für große Werte von U an die Stelle der für kleine Werte von U gültigen Beziehung (5). Sucht man nun nach einer allgemeineren Beziehung, welche die beiden genannten (5) und (6) als Grenzfälle enthält, so bietet sich als die einfachste die folgende dar:

$$\frac{d^2S}{dU^2}=-\frac{1}{a\nu U+\dfrac{U^2}{C}}$$

und durch Integration:

$$\frac{dS}{dU}=\frac{1}{T}=\frac{1}{a\nu}\cdot\log\left(1+\frac{a'\nu}{U}\right), \tag{7}$$

wobei zur Abkürzung die Konstante $aC=a'$ gesetzt ist.

Dies ist, wenn man für U nach (1) wieder $\mathfrak{K}_\nu$ einführt, die Formel für das Energieverteilungsgesetz, welche ich, auf Wellenlängen umgerechnet, in der genannten Sitzung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft[2]) im Laufe der sich an den KURLBAUMschen Vortrag anschließenden lebhaften Diskussion vorlegte und zur Prüfung empfahl.

[1]) Ann. Physik **1**, 730 (1900).

[1]) O. LUMMER u. E. PRINGSHEIM, Sitzgsber. dtsch. physik. Ges. **2**, 163 (1900).

[2]) Sitzgsber. dtsch. physik. Ges. **2**, 202 (1900).

Am Morgen des nächsten Tages suchte mich der Kollege RUBENS auf und erzählte, daß er nach dem Schluß der Sitzung noch in der nämlichen Nacht meine Formel mit seinen Messungsdaten genau verglichen und überall eine befriedigende Übereinstimmung gefunden habe. Auch LUMMER und PRINGSHEIM, die anfänglich Abweichungen festgestellt zu haben glaubten[1]), zogen bald darauf ihren Widerspruch zurück, da, wie mir PRINGSHEIM mündlich mitteilte, sich herausstellte, daß die gefundenen Abweichungen durch einen Rechenfehler verursacht waren. Durch spätere Messungen wurde dann die Formel (7) wiederholt bestätigt, um so genauer, je feiner die experimentellen Methoden arbeiteten[2]).

III.

So durfte die Frage nach dem Gesetz der spektralen Energieverteilung in der Strahlung des schwarzen Körpers als endgültig erledigt betrachtet werden. Aber nun blieb das theoretisch wichtigste Problem zurück: eine sachgemäße Begründung dieses Gesetzes zu geben, und das war eine ungleich schwierigere Aufgabe, denn es handelte sich dabei um eine theoretische Ableitung des Ausdrucks der Entropie eines Oszillators, wie er sich aus (7) durch Integration ergibt. Er läßt sich in folgender Form schreiben:

$$S = \frac{a'}{a}\left\{\left(\frac{U}{a'\nu} + 1\right)\log\left(\frac{U}{a'\nu} + 1\right) - \frac{U}{a'\nu}\log\frac{U}{a'\nu}\right\}. \quad (8)$$

Um diesem Ausdruck einen physikalischen Sinn geben zu können, waren ganz neue Betrachtungen über das Wesen der Entropie notwendig, die über das Gebiet der Elektrodynamik hinausführen.

Unter allen Physikern der damaligen Zeit war LUDWIG BOLTZMANN derjenige, der den Sinn der Entropie am tiefsten erfaßt hatte. Er deutete die Entropie eines in einem bestimmten Zustande befindlichen physikalischen Gebildes als ein Maß für die Wahrscheinlichkeit dieses Zustandes und erblickte den Inhalt des zweiten Hauptsatzes in dem Umstande, daß das Gebilde bei jeder in der Natur eintretenden Veränderung in einen wahrscheinlicheren Zustand übergeht. In der Tat war es ihm gelungen, in seiner kinetischen Gastheorie eine Zustandsfunktion H zu definieren[3]), welche die Eigenschaft besitzt, bei einer jeden in der Natur eintretenden Zustandsänderung an Größe abzunehmen, und die daher als die negativ genommene Entropie angesehen werden kann. Allerdings mußte er, um den Nachweis dieses berühmten H-Theorems führen zu können, zu der einschränkenden Hypothese greifen, daß der Zustand des Gases „molekular ungeordnet" ist.

Ich selber hatte mich bis dahin um den Zusammenhang zwischen Entropie und Wahrscheinlichkeit nicht gekümmert, er hatte für mich deshalb nichts Verlockendes, weil jedes Wahrscheinlichkeitsgesetz auch Ausnahmen zuläßt, und weil ich damals dem zweiten Wärmesatz ausnahmslose Gültigkeit zuschrieb. Daß der Beweis der Irreversibilität der von mir betrachteten Strahlungsvorgänge auch nur unter der Voraussetzung der Hypothese der „natürlichen Strahlung" gelingen konnte, daß also eine solche einschränkende Hypothese in der Theorie der Strahlung ebenso notwendig ist und dort ganz die nämliche Rolle spielt wie die der molekularen Unordnung in der Gastheorie, ist mir erst mit der Zeit vollkommen klar geworden.

Da sich mir aber nun kein anderer Ausweg öffnete, so versuchte ich es mit der Methode von BOLTZMANN und setzte ganz allgemein für einen beliebigen Zustand eines beliebigen physikalischen Gebildes:

$$S = k \cdot \log W, \quad (9)$$

wo W die gehörig berechnete Wahrscheinlichkeit des Zustandes bezeichnet.

Wenn diese Beziehung wirklich allgemeine Bedeutung besitzen soll, so muß, da die Entropie eine additive Größe, die Wahrscheinlichkeit aber eine multiplikative Größe ist, die Konstante k eine universelle, nur von den Maßeinheiten abhängige Zahl sein. Sie wird öfters verständlicherweise als die BOLTZMANNsche Konstante bezeichnet. Dazu ist allerdings zu bemerken, daß BOLTZMANN diese Konstante weder jemals eingeführt noch meines Wissens überhaupt daran gedacht hat, nach ihrem numerischen Wert zu fragen. Denn dann hätte er auf die Zahl der wirklichen Atome eingehen müssen — eine Aufgabe, die er aber ganz seinem Kollegen J. LOSCHMIDT überließ, während er selber bei seinen Rechnungen stets die Möglichkeit im Auge behielt, daß die kinetische Gastheorie nur ein mechanisches Bild darstellt. Daher genügte es ihm, bei den gr. Atomen stehenzubleiben.

Um nun die Beziehung (9) auf den vorliegenden Fall anzuwenden, dachte ich mir ein Gebilde, bestehend aus einer sehr großen Anzahl N von völlig gleichartigen Oszillatoren, und suchte die Wahrscheinlichkeit zu berechnen, daß dies Gebilde die vorgegebene Energie U_N besitzt. Da nun eine Wahrscheinlichkeitsgröße nur durch Abzählung gefunden werden kann, so war es vor allem notwendig, die Energie U_N als eine Summe von diskreten, einander gleichen Elementen ε anzusehen, deren Anzahl durch die ebenfalls sehr große Zahl P bezeichnet sein möge.

Also

$$U_N = N \cdot U = P \cdot \varepsilon, \quad (10)$$

wobei U die mittlere Energie eines Oszillators bedeutet.

Dann bot sich als ein Maß der gesuchten Wahrscheinlichkeit W ohne weiteres dar die Zahl der verschiedenen Arten, wie die P Energieelemente

---

[1]) M. v. LAUE, Naturwiss. **29**, 137 (1941).

[2]) H. RUBENS u. G. MICHEL, Physik. Z. **22**, 569 (1921).

[3]) L. BOLTZMANN, Vorlesungen über Gastheorie, 1. Teil. Leipzig: Johann Ambrosius Barth 1896, S. 33.

auf die (numeriert gedachten) N Oszillatoren verteilt werden können[1]): also

$$W = \frac{(P+N)!}{P!\,N!}. \qquad (11)$$

Daraus nach (9) die Entropie des Oszillatorensystems:

$$S_N = N \cdot S = k \cdot \log \frac{(P+N)!}{P!\,N!}$$

und nach dem STIRLINGschen Satz:

$$N \cdot S = k \cdot \{(P+N)\log(P+N) - P\log P - N\log N\}$$

oder

$$S = k \cdot \left\{\left(\frac{P}{N}+1\right)\log\left(\frac{P}{N}+1\right) - \frac{P}{N}\log\frac{P}{N}\right\}. \qquad (12)$$

Die Ähnlichkeit der beiden Ausdrücke (8) und (12) springt in die Augen. Es blieb also nur noch übrig, diejenigen Festsetzungen zu treffen, welche nötig sind, um sie völlig identisch zu machen. Das geschieht, wenn man setzt:

$$k = \frac{a'}{a} \quad \text{und} \quad \frac{P}{N} = \frac{U}{a'\nu}.$$

Daraus folgt nach (10) als Größe des Energieelements: $\varepsilon = a'\nu$. Die von der Natur der Oszillatoren unabhängige Konstante a' bezeichnete ich mit h und nannte sie, da sie die Dimension eines Produktes von Energie und Zeit besitzt, das elementare Wirkungsquantum oder das Wirkungselement, im Gegensatz zum Energieelement $h\nu$. Mit den gemessenen Werten der Konstanten a und a' des Strahlungsgesetzes (7) ergaben sich die Werte von k und h:

$$k = 1{,}346 \cdot 10^{-16}\ \text{erg/grad}, \quad h = 6{,}55 \cdot 10^{-27}\ \text{erg sec}.$$

Was nun die experimentelle Prüfung dieser Theorie anbelangt, so war eine solche damals zunächst nur in sehr beschränktem Maße möglich, weil hierfür nur die eine Konstante k zur Verfügung stand, deren Zahlenwert höchstens der Größenordnung nach einigermaßen bekannt war. Denn sie bedeutet nach BOLTZMANN[2]) die sog. absolute Gaskonstante, aber nun nicht, wie dort, bezogen auf gr. Molekeln: also $R = 8{,}31 \cdot 10^7$ erg/grad, sondern bezogen auf die wirklichen Molekeln. Daher ist das Verhältnis $k/R = 1{,}62 \cdot 10^{-24}$ der Reduktionsfaktor, welcher die Masse einer gr. Molekel auf die Masse der wirklichen Molekel zurückführt. Daraus berechnete ich auch den Wert des elektrischen Elementarquantums durch Multiplikation des Reduktionsfaktors mit der Ladung $2{,}895 \cdot 10^{14}$ (elektrostatisch) eines einwertigen gr. Ions zu $4{,}69 \cdot 10^{-10}$ (elektrostatisch), während F. RICHARZ $1{,}29 \cdot 10^{-10}$, J. J. THOMSON $6{,}5 \cdot 10^{-10}$ gefunden hatte. Weitere Messungen des elektrischen Elementarquantums lagen damals nicht vor.

Mit diesem Ergebnis konnte ich also leidlich zufrieden sein. In der physikalischen Öffentlichkeit sah es freilich etwas anders aus. Die Berechnung des elektrischen Elementarquantums aus Wärmestrahlungsmessungen wurde sogar stellenweise nicht recht ernst genommen. Aber ich ließ mich durch solche Zweifel in dem Vertrauen auf meine Konstante k nicht irre machen. Völlige Sicherheit gewann ich allerdings erst, als mir bekannt wurde, daß E. RUTHERFORD und H. GEIGER durch Abzählen von α-Teilchen auf den Wert $4{,}65 \cdot 10^{-10}$ gekommen waren. Seitdem haben verfeinerte Messungsmethoden bekanntlich zu einer kleinen Erhöhung dieser Zahl geführt.

Viel aussichtsloser erschien die Aufgabe, den Zahlenwert der zweiten Konstante, h, die zuerst völlig in der Luft hing, experimentell zu prüfen. Daher war es mir eine große Überraschung und Freude, als J. FRANCK und G. HERTZ bei ihren Versuchen über die Erregung einer Spektrallinie durch Elektronenstöße eine Methode zu ihrer Messung fanden, wie man sie sich direkter nicht wünschen kann. Damit war auch der letzte Zweifel an der Realität des Wirkungsquantums verschwunden.

Nun aber erhob sich das theoretisch allerschwierigste Problem, dieser sonderbaren Konstanten einen physikalischen Sinn beizulegen. Denn ihre Einführung bedeutete einen Bruch mit der klassischen Theorie, der viel radikaler war, als ich anfangs vermutet hatte. Zwar war das Wesen der Entropie als ein Maß der Wahrscheinlichkeit im Sinne BOLTZMANNS auch für die Strahlung endgültig festgestellt. Das zeigte sich besonders deutlich in einem Satz, von dessen Gültigkeit der mir am nächsten stehende meiner Schüler, MAX v. LAUE, mich in mehrfachen Gesprächen überzeugte: daß die Entropie zweier kohärenter Strahlenbündel kleiner ist als die Summe der Entropien der einzelnen Bündel, ganz entsprechend dem Satz, daß die Wahrscheinlichkeit des gleichzeitigen Eintreffens zweier voneinander abhängiger Ereignisse verschieden ist von dem Produkt der Wahrscheinlichkeiten der einzelnen Ereignisse. Aber die Natur der Energieelemente $h\nu$ blieb ungeklärt. Durch mehrere Jahre hindurch machte ich immer wieder Versuche, das Wirkungsquantum irgendwie in das System der klassischen Physik einzubauen. Aber es ist mir das nicht gelungen. Vielmehr blieb die Ausgestaltung der Quantenphysik bekanntlich jüngeren Kräften vorbehalten, von denen ich hier nur die Namen von A. EINSTEIN, N. BOHR, M. BORN, P. JORDAN, W. HEISENBERG, L. DE BROGLIE, E. SCHRÖDINGER, P. A. M. DIRAC nenne, während sich um den mathematischen Aufbau der Theorie unter den deutschen Physikern in erster Linie A. SOMMERFELD, um die Förderung des physikalischen Verständnisses CL. SCHAEFER verdient gemacht hat.

Bei dem jetzigen Stand der Entwicklung läßt sich wohl noch nicht mit Sicherheit absehen, ob wir schon an einem endgültigen Haltepunkt

[1]) Sitzgsber. dtsch. physik. Ges. vom 14. XII. 1900, S. 240.

[2]) L. BOLTZMANN, Sitzgsber. Wien. Akad. Wiss. (II) 76, 428 (1877).

angelangt sind, wie allerdings viele hervorragende Physiker annehmen. Ich gehöre nicht zu diesen, ich glaube vielmehr, daß es noch grundlegender, jetzt noch nicht deutlich vorauszusehender Änderungen in unserer physikalischen Begriffsbildung bedarf, ehe die Quantentheorie denselben Grad der Vollendung erreicht, wie er seinerzeit der klassischen Theorie eigen war.

Zur Psychologie des Haushundes.

Von WERNER FISCHEL, Leipzig.

1. Umwelt und Affekt.

Durch die Sinnesorgane wirkt die Umwelt auf ein Lebewesen ein. Die so entstandenen Wahrnehmungsgebilde erregen nun das Tier in sehr verschiedener Weise. Irgendeine Geruchsspur kann einen Hund geradezu fesseln. Auf die Riechzellen der Nase wirkt dabei ein Reiz oder ein Reizkomplex, das Tier als Gesamtheit erlebt aber mehr als eine Reizeinwirkung. METZGER (1941) spricht von einem „Anreiz", der vom Reiz zu unterscheiden sei. Die von außen kommenden Einflüsse bewirken nämlich mehr als nur die Entstehung eines Wahrnehmungsinhaltes. In einer vom reinen Wahrnehmen schwer trennbaren Weise wirken sie auch unmittelbar auf den Affekt. Ein Umweltgebilde kann es einem Menschen oder einem Tier irgendwie „antun", womit der Sinn des Affektbegriffes gut angedeutet ist. Jeder Anreiz ändert den Erregtheitszustand des Lebewesens.

Die erregende Wirkung der Wahrnehmungsinhalte ist schon oft bemerkt, aber sehr verschieden bezeichnet worden. Da sie sich in Abstoßung oder Anlockung äußert, spricht man in der Psychologie gelegentlich vom „Aufforderungscharakter" der Umwelterscheinungen. Ihnen schreibt VON UEXKÜLL treffend eine „Tönung" zu. Wegen der damit gegebenen Anlehnung an die Erscheinung des Wertes von Gebilden ist es zweckmäßig, von der positiven oder negativen *Valenz* der Merkmale in der Umwelt eines Lebewesens zu reden. Mit ihrer Betrachtung muß die psychologische Analyse jeglichen Verhaltens beginnen. Darum sei hier als Umschreibung besonders hervorgehoben: *die Valenz ist die erregende Wirkung eines Umweltgebildes.*

Valenzen sind einerseits durch die Qualität und andererseits durch die Form einer Beeinflussung der Sinne bedingt. Sie ergeben sich ferner aus der ererbten Eigenart des Sensoriums der Lebewesen, die das Ansprechen eben auf ganz bestimmte Formen bedingt. Sie sind nicht unwandelbar starr, sondern durch ein *Schema* festgelegt, nach LORENZ (1942) kommt den rezeptorischen Apparaten eine in den „Reizsituationen selektierende Leistung" (S. 142) zu. Das ergibt die Umschreibung: *das angeborene Schema betrifft die Form einer erregend wirkenden Erscheinung.*

Von den primären Valenzen in der Umwelt der Hunde wissen wir wenig. Daß die Geruchsspuren von Lebewesen sie fesseln, daß auffallende Gebilde wie Erdhaufen, Steine oder Baumstümpfe sie anlocken, sind Binsenwahrheiten. Praktisch wichtig ist aber die mitunter geradezu bannende Wirkung größerer oder kleinerer Verletzungen und Vertiefungen des Erdreiches, auch der Gräben und der Furchen. Beim Verfolgen einer Wagenspur hält sich der Hund an eine *Leitlinie*, die auch einen Hirtenhund veranlassen kann, am Feldrande auf und ab zu laufen.

Wenn der Herdenhund ein Schaf beim Überschreiten einer Flurgrenze zurücktreibt, äußert sich dabei ein noch nicht analysiertes, verwickeltes Zusammenspiel von Valenzwirkungen. Zunächst erregt ihn das von der Herde abgekommene Einzeltier. Nun könnte seine Raubtiernatur in einer durch Domestikation geschwächten Weise ansprechen und er treibt ein Lebewesen mit „Beutetönung". Vielleicht erlebt er aber auch die Schafherde wie ein Rudel von sozial beherrschten Artgenossen, in das der Tyrann jedes ausbrechende Einzeltier zurücktreibt, so wie der Pferdehengst sein Stutenrudel zusammenhält. Von dem in der Domestikation gewissermaßen verwischten sozialen Leben der Hunde ist nichts bekannt, und die Beobachtung halbzahm gehaltener Rudel sollte im Interesse der Beurteilung der Hirtenhunde angestrebt werden. Die Equidenstudien von ANTONIUS (1938) liefern ein soziologisch sehr wertvolles Vorbild für Hundeuntersuchungen.

In der Umwelt der Hunde gibt es vermutlich viele *leistungsbedingende Valenzen*, die z. B. dem Spalt zwischen Deckel und Kiste zukommen oder Löchern im Zaun wie auch einzelnen Gegenständen, vor allem umherliegenden Aststücken. Wenn HECKE (1939) einem spontan apportierenden Bernhardiner einen „Standardbegriff" des am besten geeigneten Zweiges zuschreibt, übersieht er dabei die Valenzen dieses Gebildes und die Feinfühligkeit des Hundes für den am besten im Maul tragbaren Zweig. Mit Recht hält GRZIMEK (1942) das oft als Beweis von Einsicht oder Intelligenz angeführte Heranziehen von unerreichbarem Futter an einer Schnur für wenig überzeugend. Das am Ende des Fadens befestigte Fleisch lockt, und was soll nun eigentlich dem regsamen Tier anderes zu tun übrigbleiben, als sich mit dem Faden zu beschäftigen, der durch die Beköderung vermutlich ebenfalls valenzreich geworden ist? Selbstverständlich läßt sich das Mitwirken höherer Funktionen beim Bindfadenversuch nicht ausschließen. Ihr Vorhandensein ist aber nicht bewiesen, solange sich die Leistung des Hundes gemäß dem Grundsatz der sparsamsten Erklärung auf affektbedingte Anlockungen zurückführen läßt.

Jede Beurteilung eines Hundes muß darum von der Frage nach dem *Valenzreichtum* seiner Umwelt ausgehen. Werden Spuren lang oder

kurz, eingehend oder flüchtig beschnüffelt? Manches intelligent erscheinende Verhalten ergibt sich ohne weiteres aus den angeborenen Beziehungen des Hundes zu seiner Umwelt.

2. Die Fernorientierung.

Zu der bekannten Tatsache des Heimfindens nach auswärts verkaufter Hunde hat als erster B. SCHMID (1932) wissenschaftlich wertvolle Aussetzungsversuche durchgeführt. Er brachte 3 Hunde (2 auf dem Lande und 1 in der Stadt München), die nur die nähere Umgebung ihres Heimathauses kannten, in fremdes Gelände, wo sie freigelassen wurden. Alle fanden sich wieder zurück, obwohl eine Orientierung durch Auge oder Nase ausgeschlossen war. Ähnliche Heimfindeprobleme haben sich bei Verfrachtungsversuchen mit Vögeln ergeben, vor allem denen von RÜPPELL mit Staren sowie denen von HEINROTH (1941) mit Brieftauben. Ein Blick auf die von B. SCHMID seiner Arbeit beigefügte Stadtkarte von München mit dem eingezeichneten Weg der dort ausgesetzten Hündin erinnert ferner ohne weiteres an die Orientierung von Ratten in Labyrinthen. Wie bei den Verfrachtungsversuchen müssen sie im Irrgarten ein Ziel außerhalb des Wahrnehmungsbereiches aufsuchen. Die durch Übung erreichbare Leistung der Ratten beruht auf einem Zusammenspiel verschiedener Orientierungsmöglichkeiten, und zwar vor allem der Angewöhnung bestimmter Bewegungsformen (Kinästhethik), einem Erfassen der räumlichen Verhältnisse des Irrgartens und einer Erinnerung an die Richtung der Lage des Zieles. Letzteres hat DASHIELL (1930) durch Versuche mit einem Labyrinth gezeigt, in dem zahlreiche Wege zum Ziel möglich waren. Abweichungen von der Zielrichtung haben die Ratten aber immer wieder korrigiert. Solche Richtungskorrekturen kamen auch bei dem von B. SCHMID in fremde Stadtteile Münchens gebrachten Hund vor. Besonders hat fernerhin HULL (1932) die Einstellung der Ratten zum Ziel hervorgehoben, in dessen Nähe ihre Laufgeschwindigkeit zunimmt. Er schreibt ihm sogar eine Reizwirkung zu und spricht von einem „goal gradient", obwohl weder eine vom Ziel ausgehende Wirkung noch ein sie aufnehmendes Organ beim Tier bekannt ist. Die auch bei Brieftauben auffallende Einstellung in die Richtung auf ein fernes Ziel hin ließ den wohl allgemein abgelehnten Gedanken an eine noch unbekannte Strahlenwirkung aufkommen. Wegen dessen Unhaltbarkeit sowie auf Grund eingehender Versuche führt HEINROTH das Heimfindevermögen der Brieftauben nur auf den Gesichtssinn zurück. Sie suchen in den bekannten Spiralflügen am Auflaßort nach einem optisch erkennbaren bekannten Merkmal, das sie dann anfliegen. Die Ausschließlichkeit dieser Erklärung bestreitet KNIERIEM (1942) mit dem Hinweis auf die weiten, von gut geübten Tauben zurückgelegten Entfernungen. Für seine Auffassung sprechen auch die Ergebnisse der Orientierungsversuche mit Hunden und die Irrgartenuntersuchungen mit Ratten. Wahrscheinlich beruht die Einstellung auf ein fernes, aber bekanntes Ziel auf einer Leistung der nicht nur als Gleichgewichtsorgan dienenden Bogengänge des Ohres, die nach KOEHLER (1942) geradezu einen Kompaß ersetzen können (S. 164). Beim Fortgehen, Abfliegen oder beim Transport registriert das Organ jede Abweichung vom Ausgangspunkt sogar bei häufiger Drehung und erlebt bei Rückdrehung die Einstellung zur Heimat als leichten positiven Affekt, so daß man wohl von einem „Richtungsgefühl" sprechen kann.

Das lebhaft erörterte Problem der Fernorientierung ist im Hinblick auf den idealen *Meldehund* kynologisch wichtig. Die Einstellung auf die Richtung eines Ortes braucht ja nicht nur die Heimat zu betreffen, sondern kann auch auf andere, im Leben des Tieres wichtige Stellen bezogen werden. Das kann der Standpunkt des Herrn an irgendeiner Stelle sein, den manche Hunde auffallend schlecht stöbernd wiederfinden, während andere geradewegs auf ihn zulaufen. Könnten wir im Kraftwagen einen Hund an einen beliebigen Ort fahren und ihn von dort mit einem Spähtrupp in schwieriges Gelände schicken, um ihn allein über mehrere Kilometer schließlich wieder zum Wagen mit dem vielleicht dort wartenden Herrn zurückkehren zu lassen, so wären sehr große Verwendungsmöglichkeiten für den Meldehund gegeben. Vermutlich gibt es individuell sehr verschiedene Veranlagungen zur Fernorientierung, die der züchterischen Pflege und Förderung zugänglich sind. Vor allem ist aber eine weitere Bearbeitung des Orientierungsproblems erforderlich, die weder zu eng an ein festgelegtes Schema angelehnt noch ausschließlich unter Berücksichtigung der Vögel oder gar der Insekten durchgeführt werden darf, sondern im Sinne einer das ganze Problem umfassenden allgemeinen vergleichenden Psychologie zu betreiben ist.

Die Fähigkeit der Hunde zum Auffinden entlegener, den Sinnen nicht erreichbarer Orte hat oft zur Überschätzung ihrer Intelligenzleistungen geführt. So wenig dieses Können im einzelnen wissenschaftlich geklärt ist, so wenig dürfen Forscher und Praktiker es übersehen. Kurz gesagt handelt es sich um die *Fähigkeit zur Orientierung in der Richtung zu einem Ort außerhalb des Wahrnehmungsbereiches.*

3. Das Instinktproblem.

Nach allgemeiner, nicht umstrittener Ansicht sind Instinkte angeborene und artspezifische Fähigkeiten. Ihre enge Bindung an den Trieb ist so bezeichnend, daß vor allem Vogelforscher (z. B. F. GOETHE) nicht von einem Nestbauinstinkt, sondern kurz von einem „Nisttrieb" sprechen. Triebe sind indessen nur die impulsgebenden Erregtheitszustände wie Hunger und Durst. Unter dem Einfluß eines Triebes stöbert der verwilderte und hungernde Hund durch den Wald. „Instinktiv" hetzt er dort Wild. Das ist insofern ein ange-

borenes Verhalten, als kein Hund die Beutenatur und die Genießbarkeit eines Kaninchens erst zu erlernen braucht. Alles Fliehende reizt ihn zur Verfolgung. Indessen ist das verfolgte Kaninchen für den Hund ein sehr valenzstarkes Gebilde, es lockt ihn an und wirkt deshalb als der „Auslöser" des Verfolgens.

Beim Klappern legt der Storch den Hals weit zurück und hält den Schnabel senkrecht nach oben. Balzende Stockenten heben den Schnabel eigenartig auf und nieder. Ein vor dem Hund fliehender Hase schlägt einen Haken. In all diesen Fällen hat das Handeln eine *besondere Form*, die nicht erlernt und somit instinktiv ist. Es muß also im Tier einen Prozeß geben, der die Muskelbewegungen entsprechend beeinflußt. LORENZ (1937) sagt: „Solche Handlungen sind meist ‚einfache' Koordinationen, wie vor allem die der verschiedenen Arten der Ortsbewegung, ferner die des Blickens, Greifens, Pickens usw." (S. 314); darum spricht er von „*Erbkoordinationen*".

Kein äußerer Anlaß, sondern ein innerer Zustand, eine „Stimmung", löst das Klappern eines Storches aus, das eine echte Instinkthandlung ist. Es ist aber kein *alle* angeborenen Fähigkeiten charakterisierendes Beispiel. Wie bei den Willens- und Intelligenzleistungen können auch beim Instinkt mehrere psychische Prozesse zusammenwirken. Es ist darum nicht möglich, unter dem Instinkt nur die Erbkoordinationen zu verstehen. Wenn allein durch sein Formschema ein valenzstarkes Gebilde Angriff oder Flucht — also keine bestimmte Verhaltungsform — auslöst, müssen wir auch von instinktivem Handeln sprechen, weil es angeboren und nicht erlernt ist. Es brauchen eben nicht alle zur höchsten Instinktleistung gehörenden Komponenten in jedem Einzelfall im Spiel zu sein. Drei verhaltensbedingende Komponenten sind die Hauptsache, nämlich der *Trieb*, das *Auslöseschema* und die *Erbkoordination*. Jeder kann allein aktiviert werden. Wenn ein Vogel mit leerem Schnabel in die Luft hinein Nestbaubewegungen ausführt, spricht LORENZ von einer *Leerlaufreaktion*. Es ist eine Aktivierung allein der Erbkoordination.

Zweifellos verfügt auch der Hund über Erbkoordinationen. Dazu gehört das Scharren, das Fußheben beim Staunen und vielleicht auch das Umkreisen von Herden. Während wir die „Instinktkataloge" von vielen Vögeln und Insekten recht gut kennen, ist der Hund in dieser Hinsicht kaum studiert. Das ist besonders im Hinblick auf die Hirtenhunde sehr bedauerlich, deren Bedeutung nach vorübergehendem Rückgang bei steigendem Umfang der Schafzucht ständig zunimmt.

4. Umwelt, Affekt und Gedächtnis.

Wenn der unerfahrene Junghund sich an den Stacheln eines Igels verletzt hat, war die Valenz oder die „Beutetönung" der lebenden Erscheinung die Ursache seines Zugreifens. Später meidet er das stachelige Tier; er hat eine Erfahrung gemacht. Dabei sind zwei Erlebnisse miteinander verknüpft worden, nämlich die Wahrnehmung und der bei ihr erlebte Affekt. Wissenschaftlich bezeichnet man diesen Vorgang als *Assoziation*. Der ursprünglich vom Igel ausgelöste Affekt ist durch eine Gedächtnisleistung von einem anderen ersetzt worden, das Ausgangsgebilde hat eine veränderte, die *sekundäre Valenz* bekommen.

Eine Assoziation liegt auch vor, wenn ein Hund einen ursprünglich unbeachteten Behälter als Futterschüssel kennenlernt. Das erklärt man vielfach als eine Verknüpfung zweier Reize oder zweier Wahrnehmungen, und nach der Auffassung von PAWLOW bildet das Futter den unbedingten, die Schüssel den bedingten Reiz. Es soll also der Anblick der letzteren die Erinnerung an den Inhalt, nämlich einen Geschmacksreiz, wachrufen, so wie etwa das Hören eines Namens beim Menschen die Erinnerung an das Aussehen der betreffenden Person ergeben kann.

Die Zurückführung der Assoziation auf die Verknüpfung zweier Sinnesinhalte ist indessen nicht zwingend, weil mit dem Ausgangsreiz auch eine Gefühlsaufwallung assoziiert worden sein kann. Menschen vergessen den Inhalt eines Buches mitunter recht schnell, während die beim Lesen erlebten Affekte — Langeweile, Begeisterung, Trauer usw. — gut behalten werden. Das ist die niederste, kynologisch überaus wichtige Gedächtnisleistung. *Bei der einfachsten Assoziation kommt es zu einer erfahrungsbedingten Verschmelzung von Wahrnehmung und Affekt.* Vermutlich entsteht sie (FISCHEL, 1939) schon durch eine Leistung des Zwischenhirns.

Besonders wichtig ist eine als *Bekanntheitserlebnis* vorkommende Gefühlsregung. Wenn der im Gedränge der Großstadt von seinem Herrn abgekommene Hund eine ihm irgendwie vertraut erscheinende Stelle erblickt oder wittert, fühlt er sich davon angezogen und kann in dieser Weise verwickelte Wege zurücklegen. Die im Hunde wirkenden primären und assoziierten Affekte beeinflussen ihn weit stärker, als entsprechende Regungen Einfluß auf menschliches Handeln ausüben. In unserem Denken spielen gefühlsmäßige Zu- und Abneigungen eine oft unterschätzte und mißachtete Rolle, und erst LERSCH hat die Wichtigkeit der den *endothymen Grund der Psyche* bildenden seelischen Grundregungen genügend hervorgehoben.

5. Die erlernte Verhaltensform.

Wenn bei einem Umwegversuch die Stäbe eines Gitters einen Hund abstoßen, während das freie Hindernisende ihn durch positive und sekundäre Valenzen anlockt, kann sich das Verhalten ganz aus dem Zusammenwirken solcher Einflüsse einer „übersichtlichen Situation" ergeben. Damit ist aber die Mitwirkung eines die Verhaltensform betreffenden Gedächtnisinhaltes nicht ausgeschlossen. Vielleicht erinnert sich der Hund vor einem Hindernis

an den früher dort nach rechts eingeschlagenen Umweg, also an die *Form seines Handelns*.

Das Vorhandensein von Gedächtnisinhalten dieser Art macht ein Hund ohne weiteres durch

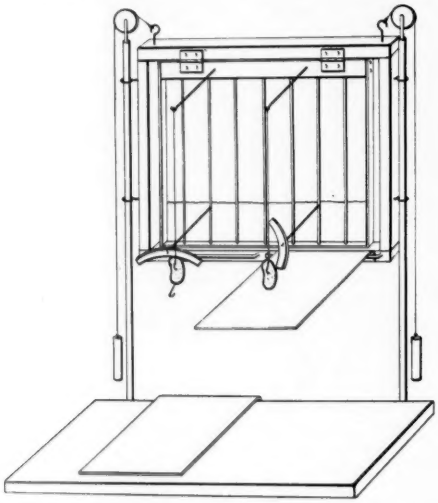


Fig. 1. Eine Versuchsanordnung mit doppelter Handlungsmöglichkeit. Das Gitter ist hochgeschoben und der beim Versuch jenseits angeleinte Hund kann das links hängende Lockmittel erreichen. (Nach FISCHEL, 1933.)

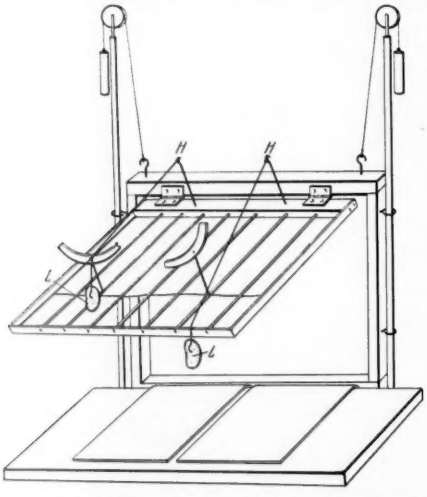


Fig. 2. Das Gitter ist vorgestoßen und das rechts hängende Lockmittel kann abgebissen werden.

das Befolgen des Befehles „Setz dich" wahrscheinlich. Ferner ist die Leistung des Türöffnens durch Niederdrücken einer Klinke ohne die Annahme der Erinnerung an die erforderliche Verhaltensform nicht zu verstehen, wenn auch die Klinke bei der Übung ein sehr valenzstarkes Gebilde geworden sein mag.

Es ist schwer, Valenzwirkungen von der Erinnerung an Verhaltensformen zu trennen. Ein zwingender Beweis für das Vorliegen der letzteren erfordert eine Einrichtung, an der zweierlei gemacht werden kann. Das hat mich (FISCHEL, 1933 und 1935) zur Konstruktion einer *Versuchsanordnung mit doppelter Handlungsmöglichkeit* veranlaßt. Sie besteht aus einem Gitter, das der hinter ihm angeleinte Hund entweder hochschieben (Fig. 1) oder vorstoßen kann, um eines der beiden vor der Anordnung hängenden Lockmittel zu erreichen. Sie sind so befestigt, daß die eine Handlungsmöglichkeit (etwa das Hochschieben) auch nur einen der beiden Köder (z. B. Fleisch) einbringt, während das andere Verhalten (das Vorstoßen, Fig. 2) das zweite Lockmittel (z. B. ein Stück Hundekuchen) zugänglich macht. Da die von uns geprüften Hunde beide Tätigkeiten sicher zu beherrschen lernten und sie den beiden Zielen richtig zuordneten, war die Fähigkeit zum Erlernen von Verhaltensformen bewiesen.

Das Erlernen von Verhaltensformen spielt bei der Abrichtung von Hunden vor allem für Zwecke der Jagd, der Polizei und des Krieges eine so wichtige Rolle, daß MOST und seine Mitarbeiter (1933, 1934) von dieser Erinnerungsleistung aus die Abrichtung umschrieben haben. Sie ist (nach MOST) eine *„Gewöhnung an bestimmte Verhaltensweisen auf gedächtnismäßiger Grundlage durch absichtlich gesetzte Sinnesreize"*. Die allermeisten einem Hunde gegebenen Befehle betreffen Handlungsformen, die erinnerungsgemäß mit bestimmten Einwirkungen assoziiert sind. Die Kunst der Abrichtung besteht weitgehend im Verhindern von „unerwünschten Verknüpfungen" und in der festen Bindung des Verhaltens an die Befehlsäußerungen des Herrn.

6. Intelligenz und Verständnis.

Gegen die Ausschließlichkeit der Zurückführung aller Hundeleistungen auf Assoziationen verschiedener Art hat sich vor allem SARRIS (1938) gewandt und das Schlagwort geprägt: „Hunde ausbilden — nicht abrichten!" Diese mit der Gefahr eines Wortstreites belastete Formulierung geht von dem Gedanken aus, daß dem Hunde eine über „bloßes Gedächtnis" hinausgehende Intelligenz zukomme und ihn auch zu selbständigem Handeln befähige. Ein im Gelände tätiger Jagd- oder Diensthund handelt nicht wie ein Pferd im Zirkus, das auf Befehl eine Volte ausführt.

Mit dieser Kritik ist die Frage nach den vom Tier selbst gefundenen oder auf Grund eigener Entscheidung durchgeführten Handlungen angerührt. Bekanntlich kommen viele Leistungen höherer Tiere durch *Versuch und Irrtum* zustande. Wenn sich ein Hund um das Öffnen einer Kiste bemüht, probiert er durch Beißen, Einzwängen oder Scharren sein Ziel zu erreichen. Die dabei

vorkommenden „Irrtümer" scheinen sinnlos probierte Handlungen, von denen schließlich die zum Erfolg führende durch Assoziation mit einem positiven Affekt behalten wird. Die Unrichtigkeit dieser Annahme hat vor allem KRECHEVSKI durch Wahlversuche mit Ratten gezeigt. Als sie mehrmals die Wahl zwischen einem hellen und einem dunklen Durchgang hatten, entschieden sie sich nie nach dem Zufall, sondern bevorzugten

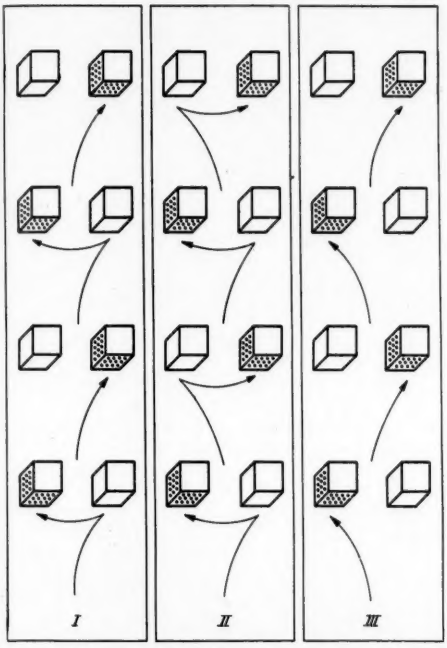


Fig. 3. Schema des Verhaltens eines Hundes bei Wahlversuchen mit einem Fleisch (punktiert) und einem Hundekuchen (weiß) enthaltenden Kasten. I. Rechtsläufigkeit. II. Zuerst wird die Seite aufgesucht, an der jeweils beim Vorversuch das Fleisch gestanden hatte. III. Direktes Aufsuchen des Fleischkastens. (Nach FISCHEL, 1941.)

zeitweise immer den rechten, dann vorübergehend den hellen und dann wieder den dunklen Durchgang. Ihre „Irrtümer" waren gar keine Sinnlosigkeiten, sondern beruhten auf einem gewissermaßen versuchsweise angewandten Verhaltensgrundsatz, weshalb KRECHEVSKI (1932) von *tierischen Hypothesen* spricht.

Es ist überaus schwer, einen Hund ohne Anwendung von Strafen zur Wahl eines schwarzen neben einem weißen Kasten zu bringen, wenn ersterer mit stark bevorzugtem Fleisch, letzterer mit weniger beliebtem Hundekuchen beködert ist (FISCHEL, 1941). Einmal rechts gefundenes Fleisch veranlaßt ihn zu wiederholten Entscheidungen für diese Seite (*I* in Fig. 3). Die dort häufig vorkommenden Enttäuschungen ergeben weiterhin vorübergehende Phasen der Entscheidung für die jeweils vorhergehende Stellung des Fleischkastens (*II* in Fig. 3), was zweifellos eine Erfahrungsanwendung und jedenfalls keine Sinnlosigkeit ist. Fälschlich hat der Hund das Finden des Fleisches mit der Stellung des Kastens und nicht mit seinem Aussehen verknüpft. Die III. Spalte in Fig. 3 stellt das „richtige" Verhalten des Hundes dar, das bei unseren Versuchen immer wieder verschwand und vorübergehend durch die in den beiden ersten Spalten angedeuteten Verhaltensweisen ersetzt wurde. Die „Fehler" des Hundes waren selten „Sinnlosigkeiten", sondern fast immer Erfahrungsbildungen mit mehr oder minder engen Grenzen.

Menschen und Tiere müssen ihre Erfahrungen erfolgsgerecht anwenden. Bei Handlungsbeginn

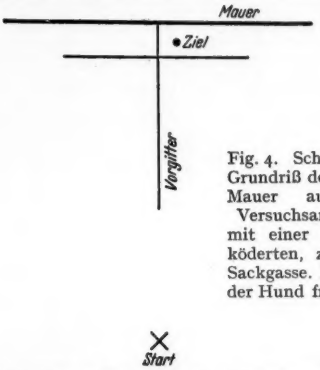


Fig. 4. Schematischer Grundriß der vor einer Mauer aufgestellten Versuchsanordnung mit einer rechts beköderten, zweiteiligen Sackgasse. Bei × wird der Hund freigelassen.

liegt aber der Erfolg noch in der Zukunft, während die Erfahrungen aus der Vergangenheit stammen. Ist die Gegenwart anders als die Vergangenheit, so kann der zukünftige Erfolg nicht mehr in der alten Weise erreicht werden. Damit ergibt sich die Frage nach dem *zukunftsgemäßen Einsatz des Könnens*, wenn die Erfahrungen zu einer besonderen Befähigung geführt haben.

Durch Umwegversuche kann man leicht eine gegenüber der Vergangenheit veränderte Anordnung schaffen. Bei soeben abgeschlossenen Versuchen[1]) mit 2 *Collie*-Hündinnen benutzten wir eine zweiteilige Sackgasse (Fig. 4). Sie bestand aus 1 m hohen Drahtgittern, und vor ihr war zur Erzielung klarer Entscheidungen des Hundes rechtwinklig ein Gitter angesetzt („Vorgitter" in Fig. 4). Entweder im rechten oder linken Teil der Anordnung stand ein mit einem Fleischbrocken beköderter Futternapf. Als er beim erstenmal rechts stand, fand „Arni" ihn dort nach kurzem Hin und Her, während „Xantho" ihn zügig in primärer Aufgabenlösung aufsuchte. Die Umsetzung des Napfes nach links ergab bei beiden Hunden einen Lauf nach rechts (vorhergehender Erfolg!), und erst beim 6. Versuch lief „Arni", die den Weg jetzt aus Erfahrung kannte, nach links. Mit dem 20. Versuch hatte sie beide Aufgaben sicher erlernt und lief jetzt je nach der Stellung

[1]) Für die Ermöglichung und Förderung dieser im Leipziger Zoologischen Garten durchgeführten Versuche bin ich Herrn Direktor Dr. K. M. SCHNEIDER vielen Dank schuldig.

des Napfes sofort erfolgsgerecht in den rechten oder linken Teil der Anordnung.

Einen beim ersten Versuch zügig zurückgelegten Umweg kann man als *primäre Aufgabenlösung* von der erst nach einigem Hin und Her („Versuch und Irrtum") gefundenen sekundären Aufgabenlösung unterscheiden. Da beide Hunde nach der Umsetzung des Futternapfes von rechts nach links ihn hier erst suchen mußten (Fig. 5), ist die sehr „verständig" erscheinende erste primäre Aufgabenlösung von „Xantho" ein Zufallstreffer gewesen. Als dann aber nach kurzer Übung beide Hunde je nach der Stellung des Futternapfes bei jedem Versuch richtig entweder von rechts oder von links in die symmetrisch geteilte Umweganordnung hineinliefen, hatten sie die Aufgabe offenbar „verstanden". Da aber zum Verständnis einer Mathematikaufgabe andere seelische Funktionen erforderlich sind als zum

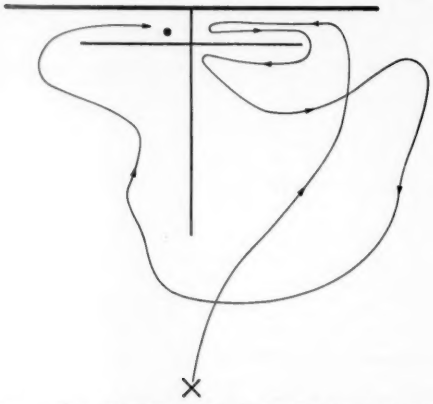


Fig. 5. Das Verhalten einer Collie-Hündin nach dem Umsetzen des Lockmittels von der rechten in die linke Sackgasse.

Verständnis der Umwegaufgabe, ist mit dem Hinweis auf das Verstehen analytisch nichts und beschreibend nur die Angabe der Erfolgsgerechtheit des Handelns gewonnen. Das „Verständnis" unserer Hunde schien in einer erfahrungsbedingten Zuordnung eines bestimmten Weges zu einer Zielstellung zu bestehen.

Eine geringe Änderung der Versuchsanordnung zeigte aber die Leistung der Hunde als reine Valenzwirkung. Wir setzten das Trenngitter zwischen beiden Sackgassen etwas nach rechts (Fig. 6), so daß eine unsymmetrisch geteilte Anlage entstand. Ein rechts von dem vor der Anordnung angebrachten „Vorgitter" sichtbarer Futternapf war von links her zugänglich gemacht worden; die Valenzwirkung konnte allein keine richtige Entscheidung mehr bedingen. Unter diesen Umständen hat keiner der beiden Hunde bei wechselnder Zielstellung primäre Aufgabenlösungen aufzuweisen gehabt. Nach jedem Umsetzen des Futternapfes mußten sie erst Erfahrungen sammeln, um das seiner Stellung entsprechende Verhalten dem Ziel zuordnen zu können.

Offenbar entscheidet die Erfahrung, also die Vergangenheit über die Leistungen eines Hundes. Durch die Erfahrung bilden sich verschiedene psychische Inhalte, die Handlungsmöglichkeiten betreffen. Im Ernstfalle müssen diese Gedächtnisinhalte aktiviert werden, der Hund braucht wie auch ein Mensch *Einfälle*. Weiterhin ist aber eine Entscheidung zwischen den Einfällen nötig. Der Hund trifft sie allein gemäß der Vergangenheit, was weder sinnlos noch töricht ist. Wenn wir vor dem Handeln etwas überlegen, schaffen wir für das Auftauchen, das Kommen und Gehen der Einfälle Zeit. Insofern kann auch ein Hund überlegen. Bei der Entscheidung über die Einfälle berücksichtigen wir aber auch die Zukunft, nämlich die allenfalls bevorstehende Erfolgsmöglichkeit. Wir wenden unsere Gedächtnisinhalte und somit unser Können im Hinblick auf zeitlich vorausliegende Ereignisse, kurz gesagt, *vorbedingt* an. In diesem Sinne hat RANSCHBURG (1911) schon

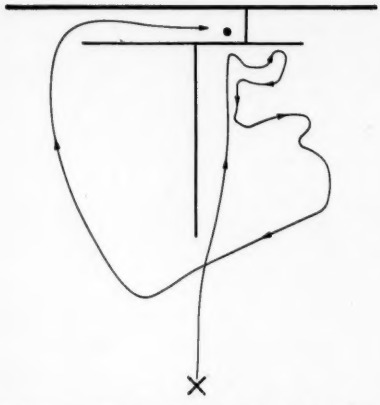


Fig. 6. Das Verhalten einer Collie-Hündin vor einer Anordnung mit unsymmetrischen Sackgassen.

vor Jahren von einem anterograden Gedächtnis gesprochen, das er von einem retrograden unterscheidet. Retrograd oder *rückbedingt* ist der nur auf zeitlich zurückliegende Ereignisse bezogene Einsatz der Gedächtnisinhalte. *Zwischen Handlungsmöglichkeiten entscheiden Hunde ausschließlich rückbedingt.* Es gibt bei ihnen kein innerliches Ausprobieren des möglichen Handlungserfolges, sie müssen ihn handelnd erfahren haben, wenn er auf ihre Entscheidungen Einfluß gewinnen soll. Wie schnell manche Hunde Erfahrungen machen und lernen, weiß jeder Hundekenner.

Hunde handeln also weder durch sinnloses Probieren in Versuch und Irrtum (was allenfalls einmal in besonders aufregenden und dabei schwierigen Lagen vorkommen dürfte), noch entsprechend menschlichem Denken. Das zeigt anschaulich der zu verschiedenen Ergebnissen führende und lange Zeit lebhaft umstrittene *Bindfadenversuch* (Fig. 7—9). Vor einem angeleinten kleinen Münsterländer Vorstehhund haben wir außerhalb der Reichweite des Maules ein Stück Fleisch hingelegt, an dem ein vor die Füße des Hundes reichender Bindfaden befestigt war (FISCHEL 1941).

Zunächst tobte das Tier an der Leine zerrend und suchte den Bissen mit dem Maul zu erlangen (Fig. 7). Nach ruhigem Betrachten der Anordnung (Fig. 8) warf „Ado" plötzlich beide Vorderbeine — die Pfoten aneinandergedrückt — nach vorn, ohne aber das Fleisch zu erreichen. Als er dann gleichgültig wurde, legte ich ein zweites Stück Fleisch 10 cm vor seiner Nase auf die Schnur, das er nur 15 Sekunden lang vergeblich zu erreichen versuchte. Dann folgte wieder ein kurzes „Überlegen", nach dem er plötzlich wieder lebhaft wurde, bellte, mit beiden Füßen auf der Schnur scharrte und das Hilfsziel erreichte. Beim nächsten Versuch hat er dann sogleich zu scharren begonnen, was ihm aber erst nach und nach das Ziel einbrachte. Von nun an beherrschte er die Aufgabe sicher (Fig. 9).

Die Enttäuschung nach dem ersten vergeblichen Zerren führte zu einem Augenblick ruhigen Betrachtens der Anordnung, dem dann ein besonderes Handeln folgte. Ein psychischer Prozeß, nämlich der das Scharren bedingende Instinkt, war aktiviert worden. Der Erfolg dieses Handelns war ihm aber keineswegs von vornherein gewiß. Es war erst eine unsichere, wenig energisch durchgeführte Bewegung, die der Hund erst nach mehreren Erfolgen sicher und geschickt durchführte.

Gegen diesen wie auch gegen den Versuch mit der zweiteiligen Sackgasse kann man ihre ausgeklügelte Naturfremdheit einwenden. Das Fadenziehen entspricht keineswegs der Raubtiernatur des Hundes, und man schafft vielleicht in übertreibender Gelehrsamkeit allzu schwierige Verhältnisse, wenn man in der Sackgassenanordnung die Valenzwirkung gegen die vom vorigen Versuch bekannte Handlungsform ausspielt. Indessen lassen sich dieselben Ergebnisse auch mit einer sehr leicht herstellbaren Umwegeanordnung erzielen (Fig. 10). Sie besteht aus einem zwischen zwei Mauern oder Zäunen aufgestellten, etwa 3 m langen und 1 m hohen Gitter, das der Hund an einer Seite umgehen kann. Sobald er auf diese Weise ein Lockmittel zügig erreicht hat, verschiebt man das Gitter so, daß es nur noch auf der anderen Seite umgangen werden kann. War vorher ein Umweg nach rechts erforderlich, so muß er jetzt nach links hin eingeschlagen werden. Fig. 10 zeigt eine Reihe solcher Versuche mit dem Münsterländer „Ado". Beim 81. und beim 86. Versuch erkennt man ohne weiteres die Neigung des Hundes zum Aufsuchen des vorher freien Gitterendes. Nach 17 Umstellungen hat er sich nur 2 mal ohne weiteres sofort für die Seite des freien Gitterendes entschieden. In allen anderen Fällen handelte er rückbedingt, also gemäß dem vergangenen und nicht gemäß dem zukünftigen Erfolg.

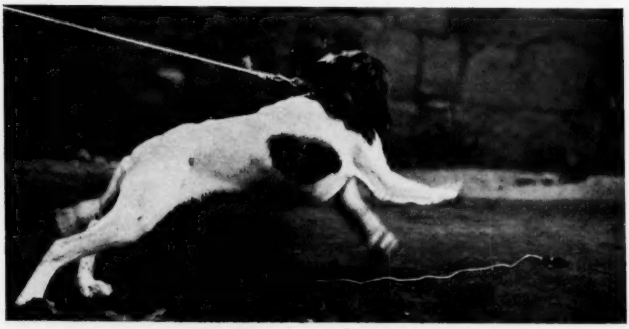


Fig. 7. Ein kleiner Münsterländer Vorstehhund versucht beim „Bindfadenversuch" das Ziel durch Zerren an der Halteleine zu erreichen. (Nach FISCHEL, 1941.)

Fig. 8. Derselbe Hund bei ruhigem Betrachten der Anordnung.

Fig. 9. Der Hund zieht den Köder durch Scharren auf dem Bindfaden heran.

Der Versuch 89 in Fig. 10 verdient als Beispiel für deutliches Widerstreiten verschiedener Prozesse in der Psyche des Hundes besondere Beachtung. Zunächst lief er richtig auf den Durchgang zu, änderte dann aber seine Laufrichtung, schwankte noch einmal, lief wirklich zum unpassierbaren Gitterende und von dort aus zügig zum Ziel. Vielleicht hat der freie Durchgang schon eine schwache Valenzwirkung gehabt, der dann aber die noch nicht ganz verblaßte Erinnerung an das Verhalten bei der vorhergehenden Versuchsreihe

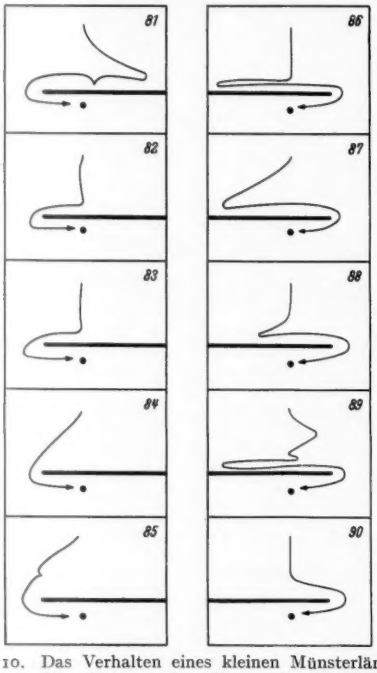


Fig. 10. Das Verhalten eines kleinen Münsterländers nach der Verschiebung eines Umweggitters. Vor dem Versuch 81 konnte es rechts umgangen werden. Bei den Versuchen 81—85 war es links und danach (86—90) wieder rechts passierbar. (Nach FISCHEL, 1941.)

entgegenwirkte. Zwingend ergibt sich der Schluß auf *mehrere* das Verhalten bestimmende Prozesse, deren Integration noch nicht vollendet war.

Nach der Gestalttheorie ergibt sich die Leistung eines Tieres ohne weiteres aus der Überschaubarkeit und der optischen Gliederung einer Situation. Ein Versagen wäre demnach auf mangelhafte Gliederung eines als Wirrnis erscheinenden Handlungsfeldes zurückzuführen. Diese Theorie übersieht die Bedeutung der zeitlichen Folge der von ihr nur aus der Gegenwart erklärten Ereignisse. Zum Urteil über die Leistungen eines Lebewesens gehört auch die Berücksichtigung von Vergangenheit und Zukunft: *das Verhalten von Tieren und Menschen ist sowohl räumlich als auch zeitlich bedingt.*

In ihrer Umwelt sammeln Hunde Erfahrungen, die sie später rückbedingt zu verwerten wissen. In der Art des Einsatzes ihrer Erfahrungen unterscheiden sie sich also von den Anthropoiden und den Menschen. Damit ist ihnen eine beträchtliche Intelligenz zugeschrieben.

Unter Intelligenz versteht man keine einzelne psychische Funktion, sondern eine äußerlich erkennbare Fähigkeit, die auf sehr verschiedene Weise zustande kommen kann. Nach LERSCH (1942) ist Intelligenz ein Leistungsbegriff, mit dem man die „Fähigkeit des Sichzurechtfindens" (S. 267) meint. Sie kann beim einen Menschen auf geschäftiger Nachahmung anerkannter Vorbilder und beim anderen auf selbständigem Überlegen beruhen. In jedem Falle wirken aber mehrere seelische Prozesse zusammen. *Intelligenz ist der durch das Zusammenwirken mehrerer seelischer Vorgänge entstehende Leistungsgrad.* Sie ist nicht urtümlich gegeben, sondern entsteht als das Ergebnis der integrierten Funktion verschiedener Prozesse. Darum ist mit dem Hinweis auf die Intelligenz eines Tieres recht wenig gewonnen, weil der Begriff nichts über die jeweils mitwirkenden seelischen Einzelfunktionen aussagt. Wenn wir (mit GRZIMEK, 1942) den Hund für allgemein intelligenter halten als den Wolf, kann die Überlegenheit des ersteren allein in größerer Regsamkeit bestehen, was auch bei gleichem Gedächtnis ohne weiteres zu einem umfangreicheren Erfahrungsschatz führt. Das bedarf im einzelnen der Analyse, die aber eine Kenntnis der in Betracht kommenden, trennbaren Einzelfunktionen erfordert. Diese sind durch die Ergebnisse der allgemeinen psychologischen Grundlagenforschung bekannt geworden und hier auseinandergesetzt.

Drei Faktoren ergeben die Intelligenzleistung eines Hundes, die indessen nicht in jedem Fall sämtlich im Spiel zu sein brauchen. Es sind:

1. die erfahrungsbedingten, anlockenden oder abstoßenden Tönungen der Umwelterscheinungen, also die sekundären Valenzen;

2. die erlernten Verhaltensformen; sie bilden Gedächtnisinhalte, die als Einfälle auftreten können; und schließlich

3. die erfahrungsgemäße, also rein rückbedingte Entscheidung zugunsten eines Einfalles.

So wie beim Menschen höchste Denkleistungen selten sind, so kommen auch Vorgänge der letztgenannten Art beim Hunde nur selten vor. Ein regsamer Hund kann schon durch bloßes Einfühlen in eine gegebene Lage Beträchtliches leisten, was oft zu einer Überschätzung der Intelligenz führt.

7. *Die Zukunft.*

Mit dem Hinweis auf die Freude eines Hundes bei den Zurüstungen seines Herrn für einen Spaziergang begründen Liebhaber gern die Annahme zukunftbezogener Vorstellungen beim Hunde. Die unbestreitbaren Affektäußerungen des Tieres sind indessen kein Beweis für eine bei ihm auftauchende und z. B. einen Kiefernwald repräsentierende Vorstellung. Zunächst ist es der Grundsatz der

sparsamsten Erklärung, der eine andere Auffassung nahelegt. Der bevorstehende und schon früher oft ausgeführte Spaziergang wird dem Hunde zweierlei bieten, nämlich bestimmte Sinneseindrücke und die Freude an ihnen. Man muß also die *bevorstehende Wahrnehmung vom bevorstehenden Affekt* unterscheiden. Die Erwartung eines Affektes genügt aber vollständig, um die Freude des Hundes bei den Ausgangsvorbereitungen auszulösen.

Wenn ein Mensch sich zu dem ihm wohlbekannten Rathaus seines Heimatortes aufmacht, kann er sich dieses als Ziel seines Weges vorstellen. Gewöhnlich ist diese Vorstellung aber sehr dürftig, und auf Befragen können nur wenige Einzelheiten des Gebäudes beschrieben werden. Wer nun seinem Hunde, der sich wie sein Herr aus täglicher Gewohnheit zum Rathaus sicher hinfindet, eine Zielvorstellung oder gar ein Suchbild zuschreibt, vermutet damit im Tier höhere Leistungen als im Durchschnittsmenschen. Das Zurechtfinden auf bekanntem Wege beruht einerseits auf den sekundären Valenzen der jeweils auftauchenden Merkzeichen und andererseits auf der Erinnerung an die Form des Handelns. Mit dieser psychisch doppelt gesicherten Leistung erreicht das Tier auch ohne das Mitwirken von Erwartungsvorstellungen ein Ziel.

Es kommt vor, daß ein Hund nach einem unter einen Schrank gerollten Ball eine beträchtliche Zeit herlauert. Er hat dann behalten, *daß* etwas vor seinen Augen verschwunden war, ohne sich indessen daran erinnern zu können, *was* es war.

Als erster hat HUNTER (1913) das Problem der Erinnerung an verborgene Handlungsziele durch Versuche mit Hunden angegriffen. Sie hatten drei Wahlkammern vor sich, von denen die eine beködert und kurze Zeit beleuchtet war. Erst mehrere Minuten nach dem Verlöschen des Lichtes durfte das Versuchstier zwischen den nunmehr gleich aussehenden Kammern wählen. Bis zu 5 Minuten lang konnten die Hunde die Stellung des Lichtes nach seiner Ausschaltung noch behalten. Bei längerem Aufschub wählten sie falsch.

Da HUNTERS Hunde sich nicht nach dem verborgenen Lockmitteln, sondern nur nach einem mit ihm assoziierbaren Lichtreiz orientieren konnten, hat man sein Verfahren als die „indirekte Methode" gekennzeichnet. Bei der in jüngster Zeit von GRZIMEK (1941) benutzten „direkten Methode" verbirgt man das Lockmittel vor den Augen des Tieres. Als Versteck diente GRZIMEK eine von 3 nebeneinanderstehenden, umgekehrten Blechschüsseln, die 1 m voneinander entfernt 8 m vor dem zuschauenden Tier standen. Ein Wolf und 2 Hunde waren die Versuchstiere, die nach mehr oder minder langem Warten die beköderte von den 3 Schüsseln aufsuchen mußten. Der Wolf wählte nach nur 5 Minuten langem Aufschub sicher richtig. Die beiden Hunde erinnerten sich aber nach einer halben Stunde und mehr noch an die Schüssel, unter der sie das Lockmittel hatten verschwinden sehen.

Durch die Beköderung hatte eine Stelle in der Umwelt der Tiere sehr starke Valenzen bekommen, sie war anfangs ein geradezu affektgeladener Punkt. Daß dabei die *„Lageerinnerung"* die entscheidende Rolle spielte, macht ein weiterer Versuch von GRZIMEK wahrscheinlich. Er ließ seinen Wolf „Dschingis" ein Stück Fleisch verscharren, grub es in Abwesenheit des Tieres wieder aus und versteckte es anderweitig. Außerdem

Fig. 11. Ein Wahlversuch mit zwei verschiedenen Lockmitteln in verschiedenen Behältern an einem Gitter. Die Lockmittel werden von Fall zu Fall vertauscht, wonach sich die Bedeutung des Zieles und das Nachwirken der Erfahrung im Verhalten des Hundes anschaulich äußert.

grub er noch an 2 weiteren Stellen Fleischstücke ein. Der dann wieder zugelassene Wolf scharrte 4mal an der jetzt leeren eigenen Grabstelle und nur je 1mal an den anderen Stellen. Ursache des Grabens war die Futtererwartung, also ein zukünftiger Affekt an einer erinnerungsgemäß stark getönten Stelle im Wahrnehmungsbereich.

Der Nachweis des Erwartens bestimmter Wahrnehmungen ist beim Hunde bisher noch nicht geglückt. Wir ließen in einer längeren Versuchsreihe eine Riesenschnauzerhündin zwischen einem schwarzen und einem weißen Futterkasten wählen, von denen der eine sehr beliebtes Fleisch, der andere weit weniger geschätzten Hundekuchen enthielt (FISCHEL, 1941, S. 25). Es kam zu keiner eindeutigen Bevorzugung des Fleischkastens (Fig. 3). Die Erinnerung an die besondere Geschmacksqualität des Fleisches war — wenn überhaupt vorhanden — so schwach, daß sie sich gegen andere Verhaltenstendenzen (vgl. Abschnitt 6) nicht durchsetzen konnte. Trotz des statistisch unbefriedigenden Ergebnisses ist der Wahlversuch mit zwei verschiedenen Lockmitteln besonders

lehrreich, wenn man ihn im Freien an einem Gitter (Abb. 11) anstellt. Dieses zwingt das Tier zu Entscheidungen, die oft erst nach deutlichem Schwanken vorkommen und den großen Einfluß der Vergangenheit verraten.

Die Zukunft betrifft beim Hunde nur die bevorstehenden Affekte, und sie lockt ihn nur, ohne bei der Auswahl zwischen Handlungsmöglichkeiten eine Rolle zu spielen.

8. Die Ganzheit der Hundepsyche.

Gemäß der schichttheoretischen Darstellung der Menschenseele (ROTHACKER, 1941) und in Anlehnung an die Unterscheidung von Funktionen des Zwischenhirnes und des Vorderhirnes (FISCHEL, 1939) schreiben wir auch der Hundepsyche eine Grundschicht und einen Oberbau zu. Die in beiden wirkenden Prozesse durchdringen und beeinflussen sich gegenseitig und bilden innerhalb der Gesamtpsyche vermutlich seelische Teilganze, die wir noch nicht erschließen können.

1. Die Grundschicht enthält die Wahrnehmungsvorgänge, die Affektregungen und die erfahrungsbedingte Verschmelzung zwischen beiden. Zu ihrer Beurteilung gehört auch ein Blick auf die mehr oder minder große Regsamkeit (Motorik) des Tieres.[1])

2. Der Oberbau der Hundepsyche leistet die über das reine Behalten hinausgehende Verarbeitung der Gedächtnisinhalte. Dazu gehört vor allem das Erkennen von übereinstimmenden Teileigenschaften verschiedener Gebilde. Der Blindenhund soll seinen Herrn um vorstehende Hindernisse, wie z. B. Briefkästen oder Fensterflügel, herumführen. Die Teileigenschaft allein des Vorstehens kann ein Hund erkennen und einem bestimmten Verhalten zuordnen.

Zweitens ist der Oberbau der Träger der Gedächtnisinhalte, die Verhaltensformen betreffen. Neurologisch darf man diese Leistung dem *Corpus striatum* des Großhirns zuschreiben.

Drittens gehört die Aktivierung der eben genannten Gedächtnisinhalte hierher, also das Auftauchen von Einfällen.

Viertens vollzieht sich im Oberbau der Vorgang des erfahrungsgemäßen Zuordnens einer Verhaltensform zu einer gegebenen Lage, was mit dem Überlegen bei Menschen Ähnlichkeit hat.

3. Seelische Teilganzheiten. Die Hundepsychologie mußte sich bisher mit der analytischen Trennung und Darstellung einzelner psychischer Funktionen beschäftigen. Diese treten vermutlich auch zu untergeordneten Teilganzen zusammen. Die Anhänglichkeit eines Hundes an seinen Herrn ist mehr als die sekundäre Valenz eines Menschenwesens, wenn diese auch in der in Betracht kommenden Ganzheit der wichtigste Faktor ist. Zu ihr kommt wahrscheinlich noch ein Gefühl der sozialen Unterlegenheit hinzu, ferner eine Verteidigungsbereitschaft und die Erwartung der vom Herrn bewirkten positiven Affekte, etwa bei der Fütterung. Ob sich aus ihrem Zusammenwirken ein der menschlichen Treue vergleichbarer seelischer Zustand ergibt, steht dahin. Das gilt auch bei der Frage nach etwa vorhandenen Vorstufen des Gemütes, des Gewissens, des Gehorsams usw. Man gerät bei solchen Betrachtungen leicht in die Gefahr des Anthropomorphismus, die uns aber nicht auf die Einseitigkeit einer nur analysierenden Psychologie beschränken darf. Die Schwierigkeit des Problems der seelischen Ganzheiten sei indessen nicht unterschätzt, zumal der Verdacht besteht, daß die psychischen Teilkomponenten beim Tier selbständiger und weniger eng integriert sind als beim Menschen.

In der Stunde der Not leistet der Hund dem Menschen die wichtigsten Dienste. Der Krieg zwingt Mensch und Tier zu Höchstleistungen, die nur bei ausreichender Kenntnis der leistungsbedingenden Prozesse möglich sind und die wir hier vor allem im Hinblick auf die Steigerung des Könnens erörtert haben.

[1]) Wenn Praktiker bei der Beurteilung von Hunden gelegentlich „Wesen" und „Anlagen" unterscheiden, betrifft das ebenfalls Grundschicht und Oberbau der Psyche. Die in der Grundschicht gegebenen Affekte machen das „Wesen" des Tieres aus, während dem Oberbau seine „Anlagen", d. h. seine Leistungsmöglichkeiten zuzurechnen sind.

Literatur.

OTTO ANTONIUS, Über Herdenbildung und Paarungseigentümlichkeiten der Einhufer. Z. Tierpsychol. **2**, 115—117 (1938). — J. F. DASHIELL, Direction orientation in maze running by the white rat. Comp. Psychol. Monogr. **7**, Nr 2, Serial-Nr 32 (1930). — WERNER FISCHEL, Das Verhalten von Hunden bei doppelter Zielsetzung und doppelter Handlungsmöglichkeit. Z. vergl. Physiol. **19**, 170—182 (1933) — Vergleichende Untersuchung des Verhaltens der Wirbeltiere. Erg. Biol. **11**, 219—243 (1935) — Gedächtnis und Denken bei Menschen und Tieren. Naturwiss. **27**, 249—258 (1939) — Tierpsychologie und Hundeforschung. Z. Hundeforsch. (N. F.) **17**, 1—71 (1941). — F. GOETHE, Beobachtungen und Untersuchungen zur Biologie der Silbermöwe. J. f. Ornithol. **85**, 1—119 (1937). — BERNHARD GRZIMEK, Gedächtnisleistung eines Wolfes und zweier Hunde. Z. Tierpsychol. **4**, 311—326 (1941) — Weitere Vergleichsversuche mit Wolf und Hund. Z. Tierpsychol. **5**, 59—73 (1942). — BERNHARD HECKE, Die Tierseele. Greifswald 1939. — O. u. K. HEINROTH, Das Heimfindevermögen der Brieftauben. J. f. Ornithol. **89**, 213—256 (1941). — C. L. HULL, The goal gradient hypothesis and maze learning. Psychologic. Rev. **39**, 25—43 (1932). — W. S. HUNTER, The delayed reaction in animals and children. Behav. Monogr. **2**, Nr 1, Serial Nr 6 (1913). — HEINZ KNIERIEM, Voraussetzungen für schnelles Heimfinden der Brieftauben. Z. Tierpsychol. **5**, 131—154 (1942). — OTTO KOEHLER, Zum Heimfinden der Tiere. Z. Tierpsychol. **5**, 152—182 (1942). — I. KRECHEVSKI, „Hypotheses" versus „chance" in the presolution period in sensory discrimination. Univ. California Publ. Psychol. **6**, 27—64 (1932). — PHILIPP LERSCH, Der Aufbau des Charakters. 2. Aufl. Leipzig 1942. — KONRAD LORENZ, Über die Bildung des Instinktbegriffes. Naturwiss. **25**, 290—330 (1937) — Induktive

und teleologische Psychologie. Naturwiss. **30**, 133—143 (1942). — WOLFGANG METZGER, Psychologie. Dresden u. Leipzig 1941. — MOST und BÖTTGER, Leitfaden für die Abrichtung des Hundes. Berlin 1933. — MOST u. MUELLER, Die Abrichtung des Jagdhundes. Berlin 1934. — P. RANSCHBURG, Das kranke Gedächtnis. Leipzig 1911. — ERICH ROTHACKER, Die Schichten der Persönlichkeit, 2. Aufl. Leipzig 1941. — W. RÜPPELL, Heimfindeversuche mit Staren. J. f. Ornithol. **83**, 462—524 (1935). — E. G. SARRIS, Hunde ausbilden — nicht abrichten! Stuttgart 1938. — BASTIAN SCHMID, Vorläufiges Versuchsergebnis über das hundliche Orientierungsproblem. Z. Hundeforsch. **2**, 1—26 (1932).

Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Über die Temperaturabhängigkeit der Helligkeit von Kristallphosphoren bei monochromatischer Anregung.

Die Untersuchung der Änderung der Helligkeit von Kristallphosphoren mit der Temperatur bei monochromatischer Anregung kann zur Deutung des Leuchtmechanismus der Kristallphosphore in verschiedener Hinsicht wertvolle Beiträge liefern.

Im Bereich der *Grundgitterabsorption* muß sich die Temperaturabhängigkeit der strahlungslosen Vielfachstöße nach MÖGLICH und ROMPE[1]) in einer Helligkeitszunahme mit abnehmender Temperatur äußern, und zwar um so stärker, je kurzwelliger die Anregung ist. Im Bereich des *langwelligen Ausläufers* können neben der Temperaturabhängigkeit der Vielfachstöße noch andere Vorgänge die Helligkeit beeinflussen, wie z. B. das Einfrieren der unmittelbar aus dem besetzten Band in die Anlagerungsstellen angeregten Elektronen, so daß bei tiefen Temperaturen nur die Anregung der Elektronen aus den Aktivatortermen in das Leitfähigkeitsband zum Leuchten führt[2]).

In einer früheren Mitteilung[3]) wurde kurz über das Ergebnis einiger Messungen über die Temperaturabhängigkeit bei monochromatischer Anregung berichtet, aus denen zu ersehen war, daß bei Zink- und Zinkkadmiumsulfiden mit abnehmender anregender Wellenlänge die Helligkeit bei tiefer Temperatur im Verhältnis zur Zimmertemperatur zunimmt. Die bei verschiedenen Temperaturen gemessenen Helligkeitswerte konnten jedoch nicht miteinander verglichen werden, was zu einer Deutung der Ergebnisse notwendig erscheint.

Die Messungen wurden daher in dem von mir geleiteten Laboratorium unter wesentlich verbesserten Bedingungen wiederholt. Die Phosphore wurden in dicker Schicht auf den Boden eines Metallhohlzylinders aufgebracht, der in einem langen Dewargefäß aufgehängt war. Durch langsames vorsichtiges Einfüllen der flüssigen Luft ließ sich verhindern, daß sich auf dem Phosphor Schichten von festem H_2O oder CO_2 niederschlagen, durch die die Reflexions- und Absorptionsverhältnisse der anregenden Strahlung geändert werden. Gemessen wurde bei Zimmertemperatur und bei der Temperatur der flüssigen Luft. Angeregt wurde mit der durch einen Doppelmonochromator zerlegten Strahlung der Osram-Quecksilberhöchstdrucklampe HBO500, deren Konstanz mit einer Photozelle kontrolliert wurde. Die Helligkeit der Phosphore wurde mit einer Photozelle (Presler 20 E) mit breitem Empfindlichkeitsbereich im Sichtbaren und einem Brückenverstärker gemessen. Untersucht wurden ein reines selbstaktiviertes Zinksulfid, ein ebenfalls reines selbstaktiviertes Zinkkadmiumsulfid (ZnS : CdS = 50 : 50) und ein mit Cu aktiviertes Zinkkadmiumsulfid (ZnS + CdS = 75 : 25), das auch bei der Temperatur des flüssigen Wasserstoffs nur eine Emissionsbande besaß.

Die gut reproduzierbaren Ergebnisse sind in der Tabelle zusammengestellt.

Man sieht, daß im Bereich der Grundgitterabsorption die Helligkeit bei tiefer Temperatur mit abnehmender Wellenlänge zum Teil beträchtlich zunimmt. Die Deutung durch die Temperatur- und Energieabhängigkeit der Vielfachstöße als Hauptursache ist naheliegend und wird auch durch den Befund gestützt, daß die Temperaturempfindlichkeit der Phosphore beim Erwärmen bis zum Verschwinden der Leuchtfähigkeit hiermit übereinstimmt. Die Leuchtfähigkeit des reinen Zinksulfids, das die stärkste Helligkeitszunahme zeigt, nimmt beim Erwärmen am schnellsten ab.

Tabelle. Verhältnis der Helligkeit bei der Temperatur der flüssigen Luft zu der Helligkeit bei Zimmertemperatur.

Erregende Wellenlänge in Å	Selbstaktiviertes ZnS	Cu aktiviertes ZnS CdS 25% CdS — 0,01% Cu	Selbstaktiviertes ZnS CdS 50% CdS
4358		0,8	0,65
4047	0,75	0,9	0,85
3650	0,90	1,2	1,3
3340	2,0	1,4	2,1
3130	2,2	1,5	2,3
3025	3,2	1,7	2,8
Grenze der Grundgitterabsorption bei Zimmertemperatur	3330 Å	3900 Å	4250 Å

Auf der langwelligen Seite der Grundgitterabsorption nimmt die Helligkeit mit abnehmender Temperatur ab. Diese Abnahme dürfte mit dem Ausschalten der Anregung der Elektronen aus dem besetzten Band direkt in die Anlagerungsterme zusammenhängen, wenn auch hierdurch keine unmittelbare Änderung der Quantenausbeute bewirkt werden kann. Die endgültige Erklärung des Verhaltens im Bereich des langwelligen Ausläufers der Absorption ist erst auf Grund weiterer Versuche möglich.

Die Untersuchungen werden zur Zeit noch fortgesetzt und erweitert.

Berlin, Studiengesellschaft für elektrische Beleuchtung, den 6. Oktober 1942.

M. SCHÖN.

[1]) F. MÖGLICH u. R. ROMPE, Z. Phys. **117**, Nr 1/2, 119/24 (1940).

[2]) Über den Leuchtmechanismus s. N. RIEHL u. M. SCHÖN, Z. Phys. **114**, 685 (1939).

[3]) H. ROTHE u. M. SCHÖN, Verh. Dtsch. Physik. Ges. (3) **20**, 151 (1939).

Verlauf der Intensitäten der Linien der p-p-Serien der He I- und Li I-Spektra in Abhängigkeit von der elektrischen Feldstärke.

Auf Grund einer kritischen Übersicht des bis jetzt bekannten experimentellen Tatsachenmaterials[1]) ist es möglich, folgende in der Fig. 1 dargestellten Gesetzmäßigkeiten über die Abhängigkeit der Intensitäten der Linien der 2p-*n*p-Serie des O-He I-Spektrums von der elektrischen Feldstärke aufzustellen:

1. Die Intensität der einzelnen Linie wächst anfangs mit wachsender Feldstärke, erreicht bei einer bestimmten Feldstärke ein Maximum, um bei noch höheren Feldstärken wieder abzunehmen.

Der Aufstieg der Intensität ist steiler als der Abstieg. Gegen den maximalen Wert der Intensität sind die Intensitätskurven asymmetrisch.

Jede Linie hat ein bestimmtes Feldstärkenintervall, in welchem sie beobachtbar ist. Außerhalb dieses Intervalls ist das Erscheinen der Linie nicht möglich.

2. Mit wachsender Gliednummer der Linie verkleinert sich die maximale Intensität der Linie und verengert sich

das Existenzintervall der Feldstärke der Linie. Der Anfang dieses Existenzintervalls verschiebt sich nach kleineren Feldstärken.

3. Mit wachsender Gliednummer der Linie verkleinert sich die Feldstärke, die zur Erreichung der maximalen Intensität der Linie erforderlich ist.

Bezeichnen wir die zur Erreichung der maximalen Intensität der $m$ten Linie notwendige Feldstärke mit F_m, so ist die für die $n$te Linie erforderliche Feldstärke (für die höheren Glieder)

$$F_n = \frac{F_m}{2^{n-m}}.$$

4. Bei kleinen Feldstärken sind meistens die Linien mit höheren Gliednummern beobachtbar, obwohl es auch möglich ist, daß die Linien mit kleineren Gliednummern hervortreten.

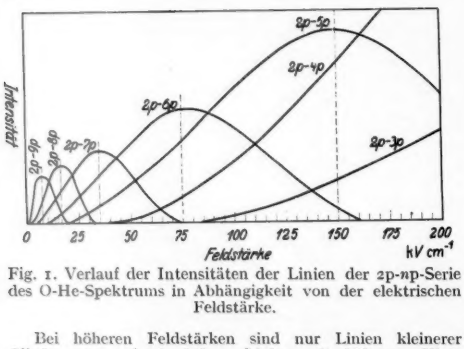


Fig. 1. Verlauf der Intensitäten der Linien der 2p-np-Serie des O-He-Spektrums in Abhängigkeit von der elektrischen Feldstärke.

Bei höheren Feldstärken sind nur Linien kleinerer Gliednummern beobachtbar, Linien mit höheren Gliednummern sind bei höheren Feldstärken überhaupt nicht möglich.

5. In Abhängigkeit von der Größe der Feldstärke können *bei einer bestimmten Feldstärke* die Intensitätsverhältnisse der beobachtbaren Linien sehr verschieden sein: die höheren Serienglieder können intensiver sein als die niedrigeren, die mittleren intensiver als die höheren und auch die niedrigeren, und die niedrigeren intensiver als die höheren.

Auch für die 2p-np-Serie des Li I-Spektrums sind ähnliche Gesetzmäßigkeiten zu erwarten mit dem Unterschied, daß für die mit denselben Gliednummern bezeichneten Linien die maximal erreichbaren Intensitäten in Vergleich mit den Linien des O-He bei ungefähr halb so großen oder sogar noch kleineren Feldstärken erreicht werden[2]).

Wenn der eben erwähnte oder ein ähnlicher Verlauf der Intensitäten in Abhängigkeit von der Feldstärke auch für die p-p-Serie des Na besteht, was recht wahrscheinlich ist, so wird es vielleicht möglich sein, dadurch die Diskrepanz, die zwischen der Verschiebung der höheren Glieder der p-p-Serie des Na im geordnetem Felde und im Bogen, die H. Bartels[3]) beobachtet hat, zu beseitigen.

Riga, Physikalisches Institut der Universität, den 29. Januar 1943. Reinhard Siksna.

[1]) J. Koch, Ann. Physik 48, 98 (1915). — J. Stark, Ann. Physik 48, 210 (1915). — G. Liebert, Ann. Physik 56, 602 (1918). — R. Ritschl u. R. Siksna, Physik. Z. 39, 767 (1938). — L. Minnhagen, Z. Physik 113, 292 (1939).
[2]) J. Stark, Ann. Physik 48, 220 (1915).
[3]) H. Bartels, Z. Physik 79, 345 (1932).

Experimentelle Geschwulsterzeugung durch Einatmung von Radiumemanation.

Die Ursachen der Schneeberger und St. Joachimsthaler Bergmannskrankheit sind bekanntlich bis jetzt ungeklärt geblieben. Nach 15—18 Jahren Grubenarbeit werden die dortigen Bergleute im allgemeinen arbeitsunfähig („bergfertig") und siechen dann schnell dahin. 50—80% von ihnen stirbt an Lungenkrebs. Da die beiden Gruben radioaktiv sind, hat sich die Vermutung immer mehr verdichtet, daß es sich dabei um die Wirkung der in der Grubenluft vorhandenen Radiumemanation, die während der Arbeit eingeatmet wird, handelt. Es gelang bisher jedoch nicht, dafür, wie auch für alle anderen zur Erklärung der Genese dieser Krankheit im Laufe der letzten Jahrzehnte vorgeschlagenen Deutungen, einen Beweis zu erbringen.

Der Frage, ob die Radiumemanation als ein wirksames Agens bei der Genese des Schneeberger Lungenkrebses zu betrachten ist, wurden im Kaiser Wilhelm-Institut für Biophysik, Frankfurt a. M., eingehende Untersuchungen gewidmet. Nachdem wir uns in den auf mehrere Jahre ausgedehnten Messungen (B. Rajewsky und A. Schraub 1937 bis 1941)[1]) über das „radioaktive Klima" (Luft, Wasser, Staub) in den Bergwerken von Schneeberg und St. Joachimsthal Klarheit verschafft hatten, gingen wir zur tierexperimentellen Untersuchung der Hauptfrage über: ob überhaupt und gegebenenfalls mit welcher Emanations„dosis" Lungenkrebs durch Einatmung von Radiumemanation erzeugt werden kann. Die experimentelle Voraussetzung zur Durchführung dieser Untersuchungen war offenbar das Vorhandensein einer Versuchsanordnung, bei welcher mit voller Sicherheit *nur die der Einatmungsluft beigemengte Radiumemanation*, unter sonst normalen Lebensbedingungen für Versuchstiere, das wirksame Agens bilden konnte. Wie es sich sowohl in Vorversuchen als auch im Laufe der Untersuchung selbst zeigte, entsprach die von uns aufgebaute Versuchsanordnung dieser Forderung im vollen Maße.

Die Beobachtung der Tiere (weiße Mäuse) während der Versuche erstreckte sich auf die Verfolgung der Veränderungen im Verhalten und allgemeinen Zustand der Tiere, regelmäßige Gewichtsaufnahmen und Blutuntersuchungen und schließlich histologische Untersuchungen post mortem. Diese letzteren wurden im Senckenbergischen Pathologischen Institut der Universität Frankfurt a. M. durchgeführt. Parallel zu den „Emanationstieren" wurden unter den gleichen Bedingungen, jedoch ohne Emanation, Kontrolltiere beobachtet. Wir befaßten uns zunächst mit der Ermittlung der unteren Emanationskonzentrationen, die bei Dauereinatmung der emanationshaltigen Luft eine eindeutige Schädigung der Tiere bedingten. Als solche „kleinen", jedoch unzweifelhaft toxischen Dosen erwiesen sich Emanationskonzentrationen von der Größenordnung $1 \cdot 10^{-8}$ ... $2 \cdot 10^{-8}$ Curie/ccm. In 3 Versuchsserien [36 Tiere (37500, 44200 und 55700 ME.)] ergab sich ausnahmslos eine eindeutige toxische Wirkung der eingeatmeten Radiumemanation: rasche Gewichtsabnahme, pathologische Änderungen des Blutbildes, Tod im ausgeprägt krankhaften Zustand nach etwa 60—100 Tagen mittlerer Versuchsdauer. Bei histologischen Untersuchungen post mortem tritt dabei neben anderen Befunden als besonders charakteristisch eine Atypie des Bronchialepithels hervor, die mit wachsender Versuchsdauer in ihrer Stärke zunimmt und sich durch unregelmäßige Anordnung sowie Auftreten abnorm großer Zellen auszeichnet.

Damit soll jedoch nicht etwa die *unterste* Toleranzkonzentration der Emanation bei Dauereinatmung festgelegt werden. Sie liegt wesentlich tiefer. Wir werden später über diese Frage berichten.

Aus der Überlegung heraus, daß die starke Verkürzung der Lebensdauer bei den Emanationsdosen von der oben als Beispiel angeführten Größenordnung evtl. keine genügende Zeit zur Tumorbildung lasse, haben wir in weiteren Versuchen die Emanationskonzentration immer weiter herabgesetzt, um bei einer immer noch feststellbaren Schädigung die Tiere doch möglichst lange am Leben zu erhalten. Dies gelang uns insbesondere bei einer Versuchsserie mit $1{,}16 \cdot 10^{-9}$ Curie/ccm (3200 ME.), bei der die „Emanationstiere" 161—453 Tage im Versuch lebten, so daß ihre mittlere Lebensdauer 286 Tage betrug, während bei der entsprechenden Kontrollserie 75% der Tiere diese Zeit überlebten.

Die äußeren Symptome der Schädigung bei dieser Serie waren eine vom 83. Tage beginnende langsame Gewichtsabnahme (in etwa 200 Tagen von 19,4 g auf 15,4 g Mittelgewicht), sowie eine sehr starke Unruhe des weißen Blutbildes, das zum Ende des Versuches immer mehr anomal wurde. Der allgemeine Zustand der Tiere verschlechterte sich mit fortschreitender Dauer des Versuches. Die Tiere starben meist in einem ausgeprägt krankhaften Zustande.

Sehr aufschlußreich war aber der histologische Befund:

Bei allen 12 Tieren dieser Versuchsserie wurde wiederum eine starke Atypie des Bronchialepithels gefunden, welche über die bei den *stärkeren* Emanationsdosen beobachtete (s. oben) hinausging. Außerdem aber fanden sich insgesamt 10 Adenome, 1 Adenocarcinom (von einem kleinen Bronchus ausgehend) und 1 starke peribronchiale und perivasculäre Wucherung des lymphoreticulären Gewebes der *einen* Lunge mit einer beträchtlichen Atypie und Polymorphie der Zellen, die nach Vorgang verschiedener Autoren als „kleinzelliges malignes Blastom der Lunge" zu bezeichnen wäre. Wir wollen jedoch im Hinblick auf die Vorsicht, die bei der Beurteilung dieses Gewebes gerade bei Mäusen geboten ist, diese Diagnose vorläufig zurückstellen, bis die weiteren, noch andauernden Versuche beendet sind.

Hinsichtlich der anderen gefundenen Tumoren ist zu bemerken, daß das formale Verhalten der Geschwulstzellen sowie das Wachstum der Tumoren mit zunehmender Versuchsdauer sich deutlich nach der Seite der Bösartigkeit hin ändert. Von den 10 Adenomen waren 2 dicht bis zur Malignitätsgrenze entwickelt. Der strengen (feingeweblichen) Beurteilung der Befunde wegen betrachten wir sie aber noch als Adenome.

Die Adenome sind auf 7 Tiere verteilt, wobei besonders auffällig ist, daß ihre Häufigkeit mit der Dauer des Versuches (Emanationseinatmungsdauer) wächst. Bei der Kontrollserie fand sich unter allen spontan gestorbenen (interkurrente Erkrankungen) und (nach 460 Tagen) getöteten Tieren nur ein kleines Adenom; das Epithel dieses Adenoms zeigt keinerlei Unregelmäßigkeiten. Ebenso sind bei Kontrolltieren keine Atypien des Tracheal- und Bronchialepithels festzustellen.

Da der normale Prozentsatz von spontanen Lungentumoren bei Mäusen nur wenige Prozent beträgt (Maud Slye 2,7 %, Schabad 3,5 %)[2]), unterliegt es kaum einem Zweifel, daß die beschriebenen Befunde: 58 % der Geschwulsttiere, 10 Adenome und mindestens 1 Bronchialcarcinom bei 12 Tieren auf die chronische Einwirkung der Radiumemanation zurückzuführen sind. Weitere Versuche sind im Gange.

Ausführliche Mitteilung erfolgt in der Z. Krebsforsch.

Frankfurt a. M., Kaiser Wilhelm-Institut für Biophysik und Senckenbergisches Pathologisches Institut der Universität, den 2. Februar 1943.

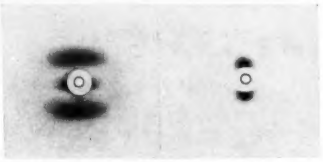
B. Rajewsky. A. Schraub. G. Kahlau.

[1]) B. Rajewsky, Bericht über die Schneeberger Untersuchungen. Z. Krebsforsch. **49**, H. 3, 315—340 (1939). — [2]) Zit. nach Döhnert, Z. Krebsforsch. **47**, 209 (1938).

Zur Kenntnis der Feinstruktur der Polyamidfasern.

Im Hinblick auf die hervorragenden mechanischen Eigenschaften der totalsynthetischen Fasern vom Typus der Nylon- und Perlonfaser (Polyamide) überrascht die verhältnismäßig geringe Kettenlänge, die auf Grund osmometrischer Bestimmungen[1]) für diese Fasersubstanzen gefunden werden. Es ist daher von besonderem Interesse, gerade bei diesen Substanzen die röntgenographisch erfaßbare Feinstruktur kennenzulernen. Im Zusammenhang mit der Frage nach der Molekülgröße dieser Stoffe haben wir auf die Prüfung von diatropen Interferenzen besonderen Wert gelegt. Durch Aufnahme in der von H. Kiessig entwickelten Aufnahmekamera mit weitem Filmabstand[2]) haben sich bei den Kondensationsprodukten aus Hexamethylendiamin und Adipinsäure (Polyamid HA) sowie aus ε-Aminocapronsäure (Polyamid εA) sehr intensive, bisher unbekannte Reflexe auf dem Meridian zu erkennen gegeben (vgl. Fig. 1a), die auf eine über die Untergruppe hinausgehende periodische Massenbelegung hinweisen und die für diese Körperklasse charakteristisch zu sein scheinen. Der Netzebenenabstand der Langperiode beträgt bei den Polyamiden Ha und εA etwa 74 Å, bei Fasern aus Poly-ω-oxydecansäure 79 Å und bei Fasern aus Poly-ω-oxyundecansäure 65,5 Å. Bei den Fasern aus den Oxysäuren sind die Reflexe schwächer als bei den Fasern aus den Polyamiden. Die Reflexe bei den Polyamiden stehen in keinem ganzzahligen Verhältnis zu der aus den Nahaufnahmen ermittelten Faserperiode: Bei HA I_F = 16,5 Å (74 : 16,5 = 4,5), bei A I_F = 16,8 Å (74 : 16,8 = 4,4). Die beobachteten Faserperioden stehen in guter Übereinstimmung mit der berechneten Länge der Grundgruppe: Bei HA berechnet 17,1 Å, bei εA berechnet 8,05 Å bzw. 2 × 8,05 = 17,1 Å. Bei den Polyoxysäuren, die bisher nur in Präparaten ohne Fasertextur vorliegen, beobachtet man neben den Langperiodenreflexen noch eine Interferenz (in beiden Fällen d = 13,4 Å), für die ein ganzzahliges Verhältnis zu dem großen Netzebenenabstand besser passen würde (6 × 13,4 = 80,4 und 5 × 13,4 = 67,0).

Beim Erhitzen der gestreckten Polyamidfasern vergrößert sich der Netzebenenabstand der großen Periode, wobei die Vergrößerung nach dem Abkühlen bestehen bleibt. Die unlängst von R. Brill[3]) mitgeteilte Änderung der Äquatorinterferenzen mit der Temperatur steht offenbar in keinem Zusammenhang mit der hier beschriebenen Erscheinung, da diese mit der Temperatur *reversibel* verläuft und sich überdies auf die Seitenabstände der Polyamidketten bezieht.



a *b*

Fig. 1. Langperiodenreflex von Polyamidfaser aus ε-Aminocapronsäure. Filmabstand 200 mm, nat. Größe, Cu-Kα-Strahlung. Faserrichtung senkrecht.

a) Normale Faseraufnahme bei 20°.
b) Aufnahme bei 210° in der Heizkamera[2]).

Bei dem Polyamid HA vergrößert sich der Netzebenenabstand bis auf 95 Å (überschmolzene Faser), bei dem Polyamid εA ist die Aufweitung noch wesentlich größer: Bei 20° d = 74 Å → bei 210° d = 120 Å (vgl. Fig. 1b).

Die in Frage stehende Interferenz ist entsprechend Fig. 1a in Richtung der Schichtlinie stark verbreitert. Beim Erhitzen verringert sich diese Breite, wobei gleichzeitig die Intensität noch zunimmt.

Der Zusammenhang der beobachteten Reflexe mit der Faserstruktur ist noch nicht geklärt. Stehen die Reflexe im Zusammenhang mit den Kettenlängen der Präparate, woran man zunächst denken sollte, dann würden die Molekülgrößen der Polyamide noch wesentlich kleiner sein als man aus osmometrischen Messungen gefolgert hat. Daneben ist aber auch die Möglichkeit ins Auge zu fassen, daß die beobachtete Erscheinung auf micellare Strukturverhältnisse zurückgeführt werden muß (Länge der kristallinen Bereiche kleiner als die Länge der Moleküle). Die festgestellte Kristallitlänge würde vorzüglich mit der aus Feinstrahl-Beugungsbildern mit Elektronenstrahlen geschätzen Größe der kristallinen Bereiche von 100 Å übereinstimmen[4]). Die Untersuchung wird fortgesetzt.

Für die Überlassung einiger Faserpräparate sagen wir der I. G. Farbenindustrie A.-G., Werk Wolfen, insbesondere Herrn Direktor Dr. E. Hubert, unseren Dank.

Berlin-Dahlem, Forschungsinstitut Hess im Kaiser Wilhelm-Institut für Chemie, den 2. Februar 1943.

K. Hess. H. Kiessig.

[1]) W. H. Carothers, J. amer. chem. Soc. **54**, 1557 (1932). — Referat K. Maurer, Z. angew. Chem. **54**, 391 (1941). — Vgl. auch H. Staudinger u. H. Jörder, J. prakt. Chem. **160**, 176 (1942).
[2]) Kolloid-Z. **98**, 213 (1942).
[3]) R. Brill, Naturwiss. **29**, 220 (1941) — J. prakt. Chem. **161**, 49 (1942).
[4]) M. von Ardenne, E. Schiebold und F. Günther, Z. f. Physik. **119**. 362 (1942).

Wie muß das Gesetz der Gravitation lauten, das der Flucht der Spiralnebel Rechnung trägt?

Die der Entfernung proportionale Fluchtgeschwindigkeit der Spiralnebel führt zu einer Erweiterung des Newtonschen Gravitationsgesetzes, die in der Hinzufügung eines

positiven, ebenfalls abstandsproportionalen Gliedes besteht, so daß der Ausdruck für die Schwerebeschleunigung lautet:

$$\frac{d^2r}{dt^2} = -\frac{GM}{r^3} + a^2 r\,.$$

Ein solches Gesetz kann man aus der Metrik der vierdimensionalen Raumzeitmannigfaltigkeit ableiten, wenn man die Feldgleichungen mit Einschluß des kosmologischen Gliedes, aber ohne Materietensor ansetzt:

$$K_{\mu\nu} - \tfrac{1}{4}\, g_{\mu\nu} \cdot K = 0\,.$$

Dann wird die rein zeitliche Komponente des Fundamentaltensors in einem stationären kugelsymmetrischen System:

$$g_{00} = 1 - \frac{2GM}{c^2 \cdot r} - \frac{r^2}{R^2}\left(1 - \frac{2GM}{c^2 \cdot R}\right).$$

Da man diese Komponente nach Multiplikation mit $^1/_2\, c^2$ mit großer Annäherung als Schwerepotential ansehen kann, ergibt sich daraus obiges Gesetz der Schwere, wobei die Konstante a fast genau den Wert c/R annimmt, also zum Verhältnis von Lichtgeschwindigkeit zu Weltradius wird.

Das Feld jeder einzelnen Weltinsel kann annähernd als kugelsymmetrisch angesehen werden; innerhalb jeder Insel herrscht die durch das erste Glied gegebene Anziehung, außerhalb die durch das zweite bedingte Abstoßung vor. Jede Weltinsel stößt demnach jede andere mit einer der Entfernung proportionalen Kraft ab; daraus ergibt sich ein Bild für das Weltganze, das genau dem Heckmannschen Weltpostulat entspricht. Dies „Ganze", d. h. die in der endlichen Welt unveränderlicher Größe enthaltene Massenanhäufung, dehnt sich also auch mit einer Geschwindigkeit aus, die von jedem Beobachter an beliebigem Ort als entfernungsproportional angesehen wird.

Eine ausführliche Darstellung soll an anderer Stelle erscheinen.

Königsberg i. Pr., den 6. Februar 1943.

Ernst Reichenbächer.

Abhängigkeit des Infektionserfolges vom Alter der Infektionswunde.

(Versuche mit pflanzenpathogenen Viren.)

Wenn aktive Partikel des Kartoffel-X-Virus und des Tabakmosaikvirus mit dem Einreibverfahren in dieselbe Infektionswunde gelangen, so entwickelt sich nach eigenen Feststellungen ein Einzelherd von Mischcharakter („Mischherd") (Fig. 1). Wir haben uns diesen Befund zunutze gemacht, um die Frage zu prüfen, wie lange eine Infektionswunde infektionsfähig bleibt. Dazu wurden Blätter an Tabakpflanzen (Samsun) zuerst auf ihrer gesamten Oberfläche mit dem X-Virus (Stamm Us, Rohsaft 1:50) durch Einreiben mit dem Gazebausch beimpft. Nach bestimmten Zeitabschnitten wurden dieselben Blätter sodann mit dem Tabakmosaikvirus (Grünstamm TM/w, Rohsaft 1:50) durch vorsichtiges Auftragen mit dem Pinsel auf der einen Blatthälfte zusätzlich beimpft, während die andere Hälfte zur Kontrolle unbehandelt blieb. Das Ergebnis ist aus Fig. 2 ersichtlich. Auf der Abszisse ist die Zeit in Minuten, auf der Ordinate die Anzahl Mischherde in Prozenten aufgetragen. Es zeigt sich, daß die Infektionsfähigkeit der durch das Einreiben mit dem Gazebausch hervorgerufenen Wunden zunächst sehr rasch abnimmt; schon nach 10 Minuten erweist sich nur noch die Hälfte der Wunden als infektionsfähig. Die Kurve sinkt dann innerhalb von 2 Stunden auf 20 %, innerhalb 24 Stunden, was nicht mehr abgebildet ist, auf etwa 4 % herab. Auf den Kontrollhälften erschienen keine Mischherde. Das Ergebnis wird vermutlich so zu deuten sein, daß sich die große Mehrzahl der Wunden rasch schließt, während ein kleiner Teil (wahrscheinlich die größeren Wunden) längere Zeit offen bleibt.

Fig. 1. Tabakblatt mit zweierlei Einzelherden, die nach Aufreiben eines Mischsaftes des Tabakmosaik- und des X-Virus (Stamm Us) erschienen sind. Die hellen Flecke mit den konzentrischen Ringen sind Infektionsstellen des reinen X-Virus, die eingesunkenen Flecke mit vertrocknetem Innenteil und dunkler Randzone sind Mischherde. Die Infektionsstellen des reinen TM-Virus machen sich entweder gar nicht bemerkbar, wie auf unserem Bild, oder höchstens als schwach sichtbare diffuse, chlorotische Flecke.

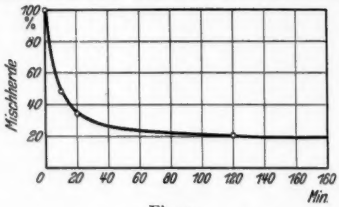


Fig. 2.

Gleichsinnig verlief ein Versuch, der in einer Reihe von Farbstoffversuchen ausgeführt wurde. Es wurde Preßsaft von Samsuntabakpflanzen, die mit Us stark infiziert waren, mit Wasser 1:10 verdünnt auf gesunde Tabakpflanzen mittels Gazebausches eingerieben. Danach wurde in verschiedenen Zeitabständen eine Erythrosinlösung 1:5000, die in früheren Versuchen sich als stark virusinaktivierend erwiesen hatte, mit dem Pinsel auf eine Blatthälfte aufgetragen. Der Erfolg ist auf der Kurve (Fig. 3) ersichtlich. Die sofortige Behandlung mit Erythrosin ergibt eine Herabminderung der Zahl der Infektionsherde um 80 %. Nach 15 Minuten ist sie bedeutend geringer und läßt bis 30 Minuten weiter nach. Nach 2 Stunden jedoch ist sie nur noch um 4 % zurückgegangen, nach 6 Stunden um noch weitere 2 %. Nach 24 Stunden liegt die Differenz schon fast in der Höhe der üblichen Schwankungen. Die Ergebnisse bestätigen die Feststellungen der ersten Versuchsreihe. Die Wunden schließen sich größtenteils nach kurzer Zeit, das Erythrosin kann dann nicht mehr zur Einwirkung auf das Virus gelangen.

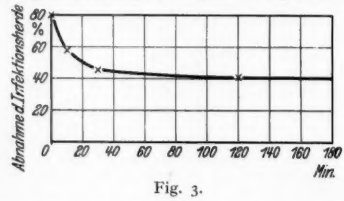


Fig. 3.

Berlin-Dahlem, Biologische Reichsanstalt, den 6. Februar 1943.

E. Köhler. R. Eicke.

Zur Auswertung des strahlenbiologischen Sättigungseffektes.

Die bereits vor längerer Zeit vom Verfasser[1]) erkannte Möglichkeit, durch eine nähere Analyse des Sättigungseffektes die den Ionisationen zukommende Wirkungswahrscheinlichkeit[2]) zu ermitteln, ergibt sich unter der Voraussetzung, daß der Radius der Ionisationsgruppen klein ist gegenüber dem Radius des strahlenempfindlichen Volumens. Aus der Treffwahrscheinlichkeit bei geringen Ionisationsdichten kann man dann unmittelbar auf $\frac{4}{3}\,\alpha\pi\varrho^3$, aus dem Sättigungsfaktor hingegen auf $\frac{\alpha a}{b}$ (α Wirkungswahrscheinlichkeit, ϱ Radius des strahlenempfindlichen Volumens, a mittlerer Weg im strahlenempfindlichen Volumen bei Kugelform $= \frac{4}{3}\,\varrho$, b mittlerer Ionisationsabstand) schließen

und weiterhin aus diesen beiden Größen die Wirkungswahrscheinlichkeit zugleich mit dem wirklichen strahlenempfindlichen Volumen berechnen. Der Sättigungsfaktor kann mit guter Näherung $\frac{a\,a}{b}$ / $\frac{-a\,a}{1-e^{\frac{-a\,a}{b}}}$ geschrieben werden[3]).

Berücksichtigt man die endliche Ausdehnung vom Gruppenvolumen, so berechnet sich die Treffwahrscheinlichkeit, bei Beschränkung auf die sehr dicht ionisierenden α-Teilchen und Protonen, deren Ionisationsgruppen sich durchdringen und eine Ionisierungssäule hervorrufen, wie folgt:

Die Treffwahrscheinlichkeit W setzen wir gleich der Wahrscheinlichkeit für den Durchgang bzw. die Berührung der Ionisierungssäule mit dem strahlenempfindlichen Volumen multipliziert mit der mittleren Wahrscheinlichkeit, daß ein solches Ereignis wirksam wird.

Der erstere Faktor ist $\pi(\varrho+\varrho_0)^2 NR$ (ϱ_0 Radius der Ionisierungssäule, N Zahl der pro cm³ erzeugten Protonen oder α-Teilchen, R ihre Reichweite). Da weiterhin $NR=\frac{r}{n}$ (n Ionisation pro cm Weg, r Dosis) ist, ergibt sich die Durchgangswahrscheinlichkeit zu $\pi(\varrho+\varrho_0)^2\frac{r}{n}$.

Zur Berechnung des zweiten Faktors gehen wir aus von der mittleren Zahl der wirksamen Ionisationen bei einem der durch $\pi(\varrho+\varrho_0)^2\cdot\frac{r}{n}$ beschriebenen Durchgänge. Sie ist $\frac{4}{3}\frac{\alpha\varrho^3\cdot n}{(\varrho+\varrho_0)^3}$. Die Wahrscheinlichkeit eines Treffers pro Durchgang ergibt sich daraus zu $1-e^{-\frac{4}{3}\frac{\alpha n^3\varrho}{(\varrho+\varrho)^3}}$.

Insgesamt folgt durch Multiplikation der beiden Faktoren für die Zahl der wirksamen Durchgänge

$$W=\frac{\pi(\varrho+\varrho_0)^2}{n}\cdot\left(1-e^{-\frac{4}{3}\frac{\alpha\cdot n\cdot\varrho^3}{(\varrho+\varrho_0)^3}}\right)\cdot r. \qquad (1)$$

Hierfür kann man auch schreiben

$$W=\alpha\cdot\frac{4}{3}\pi\varrho^3\cdot\frac{1-e^{-\frac{4}{3}\frac{\alpha\varrho^3 n}{(\varrho+\varrho_0)^3}}}{\frac{4}{3}\cdot\frac{\alpha\varrho^3 n}{(\varrho+\varrho_0)^3}}\cdot r, \qquad (2)$$

wobei das Reziproke des zweiten Faktors den Sättigungsfaktor darstellt.

Die inkorrekte Mittelwertsbildung, die unsere Herleitung enthält, verfälscht das Resultat nur wenig, was man daraus schließen kann, daß einerseits für $\varrho_0/\varrho\ll 1$ der Ausdruck (2) in den oben bereits erwähnten übergeht, andererseits für $\varrho_0/\varrho\gg 1$ eine Mittelwertbildung nicht in Frage kommt[4]) und daher eine entsprechende Fehlerquelle nicht vorhanden ist.

Im Grenzfall $\varrho_0/\varrho\gg 1$ ist der Sättigungsfaktor außer von der physikalischen Konstanten ϱ_0 nur noch von $\alpha\varrho^3$ abhängig, also von der gleichen Größe, welche die Treffwahrscheinlichkeit bei geringen Ionisationsdichten bestimmt. Wir gelangen somit zu der Folgerung, daß eine Ermittlung der Wirkungswahrscheinlichkeit nicht mehr möglich ist, wenn das Gruppenvolumen groß ist gegenüber dem strahlenempfindlichen. Es ist dann lediglich möglich, durch Einsetzen von $\alpha\varrho^3$ in den Sättigungsfaktor und Vergleich mit seinem experimentellen Wert zu verifizieren, daß ein Sättigungseffekt vorliegt.

Zimmer und Timoféeff-Ressovsky[5]) haben kürzlich darauf aufmerksam gemacht, daß im Falle der Genmutationen die Ausdehnung der Ionisationsgruppen in Rechnung gesetzt werden muß. Die Anwendung unserer Betrachtung auf den Abfall der Mutationsrate, der sich nach Zimmer und Timoféeff-Ressovksy bei Bestrahlung mit Neutronen ergibt, führt jedoch zu Schwierigkeiten. Diese werden besonders deutlich, wenn man von (1) ausgeht. Nach den Angaben von Zimmer und Timoféeff-Ressovsky ist der Sättigungsfaktor $\frac{4}{3}\frac{\alpha\varrho^3 n}{(\varrho+\varrho_0)^3}$ sehr groß, nämlich 2,46. Man kann daher $e^{\ldots}$ gegenüber 1 vernachlässigen (mit einem Fehler von etwa 10%), was anschaulich bedeutet, daß praktisch jeder Protonendurchgang wirksam wird. Es ergibt sich somit $W=\pi(\varrho+\varrho_0)^2 r/n$. Mit[6]) $W/r=0{,}45\cdot 10^{-20}$ und $n=1{,}1\cdot 10^7$ Ionen/cm erhält man $\varrho+\varrho_0=\sqrt{\frac{0{,}45\cdot 10^{-20}\cdot 1{,}1\cdot 10^7}{\pi}}=1{,}25\cdot 10^{-7}$ cm. Dieser Wert ist viel zu niedrig, denn ϱ_0 ist für sich allein nach der Jaffé'schen Theorie etwas größer als 10^{-6} cm. Nach Wilsonaufnahmen[7]) ist ϱ_0 zwar allem Anschein nach kleiner, liegt aber auch kaum wesentlich unter $5\cdot 10^{-7}$ cm. Man gewinnt den Eindruck, daß unter den gemachten Annahmen eine Deutung des Abfalls der Mutationsrate nicht möglich ist.

Auf die Möglichkeit, die Deutung des Abfalls der Mutationsrate als Sättigungseffekt fallen zu lassen und von anderen reaktionskinetischen Voraussetzungen[8]) auszugehen, sei nur hingewiesen.

Freiburg i. Br., Radiologisches Institut, zur Zeit bei der Wehrmacht, den 13. Februar 1943. K. Sommermeyer.

---

[1]) K. Sommermeyer, Naturwiss. 26, 154 (1938) — Z. Physik 109, 232 (1938).

[2]) D. h. die Wahrscheinlichkeit dafür, daß eine in das strahlenempfindliche Volumen fallende Ionisation wirksam wird.

[3]) K. Sommermeyer, Strahlenther. 69, 715 (1941).

[4]) Bzw. nur über die mit dem Abstand von der Achse abnehmenden Ionisationsdichten zu mitteln ist.

[5]) K. G. Zimmer u. N. W. Timoféeff-Ressovsky, Z. Abstammgslehre 80, 353 (1942).

[6]) Den Ausführungen Zimmers und Timoféeff-Ressovskys folgend, identifizieren wir das Wirkungsvolumen der letalen Mutationen mit dem der sichtbaren von $1{,}1\cdot 10^{-20}/\text{cm}^3$, $\frac{W}{r}$ ist daher $\frac{1{,}1\cdot 10^{-20}}{2{,}46}=0{,}45\cdot 10^{-20}$. $n=1{,}1\cdot 10^7$ Ionen pro cm entspricht der mittleren Energie der Rückstoßprotonen von $1{,}8\cdot 10^6$ Volt.

[7]) Vgl. P. Jordan, Protoplasma (Berl.) 32, 464 (1939).

[8]) Vgl. K. Sommermeyer, Z. Abstammgslehre 79, 240 (1939). — F. Möglich, R. Rompe, N. W. Timoféeff-Ressovsky, Naturwiss. 27, 409 (1942).

Bemerkungen zu Lettrés Theorie über die Bedeutung körpereigener Mitosegifte für den Wachstumsprozeß.

Lettré[1]) hat in Veröffentlichungen in dieser und in anderen Zeitschriften sowie auch mehrfach in Vorträgen über einige neue, von ihm gefundene Mitosegifte berichtet. Mitosegifte oder karyoklastische Stoffe werden seit den grundlegenden Mitteilungen Dustins vielfach studiert. Das Besondere an Lettrés Arbeiten liegt darin, daß er neue Mitosegifte auffand und feststellen konnte, an welche Strukturgruppe die karyoklastische Wirksamkeit gebunden ist. Und darüber hinaus entwickelte er eine weittragende Theorie über das Eingreifen körpereigener Mitosegifte in den Wachstumsprozeß, die auch auf das Krebsproblem ein neues Licht zu werfen scheint. Der Sinn meiner Mitteilung ist, die von einem Chemiker entwickelten Gedankengänge über das Zellwachstum von cytologischer und medizinischer Seite aus kritisch zu betrachten.

Es muß vorläufig dahingestellt bleiben, ob die von Lettré an der Gewebekultur ausgetesteten und als Mitosegifte bezeichneten Substanzen wirklich diesen Namen verdienen. Die von Lettré bisher veröffentlichten Mikrophotographien ermöglichen keine Beurteilung des Sachverhalts, denn sie geben die Zellen — nach dem lebenden Präparat — in schwacher und schwächster Vergrößerung wieder (60—240fach!!)[2]). Es ist immer zu berücksichtigen, daß gerade an Gewebekulturen Verwechslungsmöglichkeiten mit abgerundeten, absterbenden Zellen bestehen. Solche Zellformen finden sich bei sehr verschiedenartigen unspezifischen Schädigungen. In ihrer äußeren Gestalt ähneln sie bestimmten Mitosestadien, befinden sich aber in Wirklichkeit nicht in Teilung. Da Lettré keinerlei Beschreibungen der von ihm beobachteten morphologischen Gegebenheiten bringt, sind besser auswertbare Abbildungen um so dringender erwünscht.

Auch wenn man annimmt, daß Lettré die cytologischen Befunde richtig beurteilt, können die daran geknüpften Überlegungen nicht ganz undiskutiert hingenommen werden. Lettrés Beobachtungen und Gedankengänge sind kurz folgende: In seinen Versuchen erwies sich oxydiertes Adre-

nalin normalen Zellen gegenüber als Mitosegift; wurde die Adrenalinlösung durch entsprechende Zusätze reduziert, so verhielt sie sich gegenüber normalen Zellen indifferent. Eine Adrenalinlösung derselben Konzentration übte dagegen auf Krebszellen weder in oxydiertem noch in reduziertem Zustand irgendeine mitosenschädigende Wirkung aus. Danach nimmt LETTRÉ an, daß oxydiertes Adrenalin und ähnliche, noch zu suchende Stoffe als körpereigene Mitosegifte *im Wachstumsvorgang* eine entscheidende Rolle spielen. Bekanntlich gehen die Körperzellen, die im Embryo in lebhafter Vermehrung (Mitose) begriffen sind, mit fortschreitender Entwicklung des Organismus in Wachstumsruhe über, der Körper hört auf zu wachsen, weil sich seine Zellen nicht mehr teilen[3]). Nach LETTRÉ kommt dieser Wachstumsstillstand nun dadurch zustande, daß körpereigene Mitosegifte vom Typ des oxydierten Adrenalins die in Teilung eingetretenen Zellen vergiften, so daß die Mitose nicht zu Ende ablaufen kann. Krebszellen sind dagegen, wie schon erwähnt, oxydiertem Adrenalin gegenüber unempfindlich, und zwar nach LETTRÉS Meinung deswegen, weil sie infolge ihres größeren Reichtums an Sulfhydryl- statt Disulfidgruppen oxydiertes Adrenalin reduzieren und mithin unschädlich machen. So erklärt es sich nach LETTRÉ zwanglos und unter einem einheitlichen Gesichtspunkt, warum normale Zellen in der postembryonalen Entwicklung zu wachsen aufhören, Geschwulstzellen hingegen ungestört und schrankenlos wachsen können.

Einer solchen Vorstellung stehen aber schwerwiegende Tatbestände gegenüber. Folgt man LETTRÉ, so muß man erwarten, daß alle histologischen Präparate von Organen des erwachsenen Körpers eine Reihe von spezifisch blockierten Mitosen aufweisen; der Wachstumsstillstand dieser Gewebe wird ja eben durch Vergiftung ihrer Mitosen erklärt. Ein solcher Tatbestand ist jedoch nicht gegeben. Normale Organe des erwachsenen Körpers sind nicht durch vergiftete, blockierte Mitosen charakterisiert, sondern durch die Abwesenheit von Mitosen[3]). Der älter werdende Organismus hört also nicht dadurch auf zu wachsen, daß seine Zellteilungen unterbrochen werden und infolgedessen das natürliche Ergebnis, die Zellvermehrung, vermissen lassen. Sondern die Zellen des ausgewachsenen Körpers treten überhaupt nicht mehr in Teilung ein. Wir haben keinerlei Anlaß, bei dem Problem des Wachstumsstillstandes erwachsener normaler Gewebe mit Mitosegiften im gebräuchlichen Sinne des Wortes zu rechnen. Zu erklären ist vielmehr, warum die Zellen überhaupt nicht mehr die zellphysiologischen Veränderungen durchmachen, die in der Mitose gipfeln. Allgemein gehaltene Erwägungen vieler Betrachter gehen dahin, daß beim Nachlassen des Körperwachstums wachstumshemmende Faktoren über wachstumsfördernde das Übergewicht bekommen. Noch ist es unbekannt, welcher Art diese Faktoren sind. Sicher aber ist, und das muß LETTRÉS Vorstellung gegenüber nachdrücklich betont werden, daß diese etwaigen wachstumshemmenden Faktoren die Zellen nicht erst im Stadium der Teilung beeinflussen, sondern die ruhende Zelle angreifen. Denn diese Zellen gehen überhaupt keine Teilung mehr ein.

Wie auseinandergesetzt, kann der natürliche Wachstumsstillstand nicht durch die Anwesenheit körpereigener Mitosegifte erklärt werden, und somit erübrigt es sich auch, einen Mechanismus zu suchen, der sie an Geschwulstzellen wirkungslos macht.

Es sei aber bemerkt, daß hier einige weitere Unstimmigkeiten zwischen LETTRÉS Ableitungen und gegebenen Tatsachen vorliegen. So ist von vielen Geschwülsten bekannt, daß ein Teil der reichlich in ihnen vorhandenen Mitosen gerade solche morphologischen Störungen aufweist, wie sie u. a. durch Mitosegifte experimentell hervorgerufen werden können. Wenn also überhaupt innerhalb des Wachstumsprozesses an Mitosegifte zu denken ist, so liefern gerade maligne Geschwulstzellen und nicht normale Zellen, wie man nach LETTRÉ annehmen müßte, darauf hindeutende morphologische Befunde.

Ein weiterer Mißklang zwischen LETTRÉS theoretischen Erwägungen und bekannten Tatsachen ergibt sich aus folgendem: LETTRÉ weist darauf hin, daß die von WARBURG aufgedeckte aerobe Glykolyse maligner Zellen zu ihrem großen Reichtum an Sulfhydrylgruppen in Beziehung steht. Wie schon erwähnt, verknüpft er diese wiederum mit der von ihm beobachteten Unempfindlichkeit von Krebszellen gegenüber oxydiertem Adrenalin und rundet damit die Vorstellung, die er von der Geschwulstzelle gibt, zu einem einheitlichen Bilde. Beide Eigenschaften sind aber an Gewebekulturen, mit denen LETTRÉ ja arbeitet, keineswegs ein Reservat maligner Zellen. Vielmehr hat man gefunden, daß in vitro alle bisher untersuchten normalen Zellen ausnahmslos beträchtlich aerob glykolysieren (siehe die Zusammenstellung bei KNAKE)[4]); und LETTRÉ berücksichtigt weiterhin nicht, daß an normalen Zellen, solange sie in vitro wachsen, die Nitroprussidreaktion stets positiv ist (EPHRUSSI)[5]). So vermögen also die von LETTRÉ zitierten Zusammenhänge im Gegensatz zu seiner Darstellung nicht zu erklären, warum sich normale und Geschwulstzellen gegenüber dem von ihm angewandten Mitosegift in vitro grundsätzlich verschieden verhalten.

Berlin, Abteilung für experimentelle Zellforschung am Pathologischen Institut der Charité. ELSE KNAKE.

[1]) LETTRÉ, Angew. Chemie **53**, 363 (1940) — Hoppe-Seylers Z. **268**, 59 (1941); **271**, 190 u. 192 (1941). — LETTRÉ u. ALBRECHT, ebenda **271**, 200 (1941). — LETTRÉ, ALBRECHT u. FERNHOLZ, Naturwiss. **1941**, 390. — LETTRÉ, ebenda **1942**, 34. — LETTRÉ u. ALBRECHT, ebenda **1942**, 184. — LETTRÉ, Akademie für ärztliche Fortbildung 1941 — Mitteldeutsche Vortragsveranstaltung des VDH. Kassel 1942.

[2]) Zum Vergleich siehe z. B. die Abbildungen von RIES nach gefärbten Präparaten zu demselben Thema (diese Zeitschrift **1939**, 505).

[3]) Von den wenigen, an bestimmten Orten gelegenen Zellen, die weiter teilungsfähig bleiben und durch Verschleiß zugrunde gehende Zellen ersetzen, kann hier wie bei LETTRÉ abgesehen werden.

[4]) KNAKE, Z. Krebsforsch. **52**, 269 (1942).

[5]) EPHRUSSI, La culture des tissus. Paris 1932.

Zu den vorstehenden Bemerkungen von E. Knake.

Die vorstehenden Ausführungen von E. KNAKE sind mir vor der Drucklegung durch die Schriftleitung dieser Zeitschrift zur Kenntnis gebracht worden. Ich ersehe aus dieser Mitteilung von E. KNAKE, daß ich es über den experimentellen Arbeiten versäumt habe, die mit dieser Arbeitsrichtung verknüpften theoretischen Fragen eingehender darzustellen, so daß für denjenigen, der diesem Forschungsgebiet ferner steht, mißverständliche Deutungen der bisherigen Befunde möglich sind. Auf Wunsch der Schriftleitung sehe ich von einer detaillierten Entgegnung ab und werde den Fragenkomplex demnächst in dieser Zeitschrift ausführlich erörtern.

Berlin, Allgemeines Institut gegen die Geschwulstkrankheiten im Rudolf Virchow-Krankenhaus, den 12. Januar 1943. HANS LETTRÉ.

Besprechungen.

Johannes Kepler Gesammelte Werke. (Bd. IV, Kleinere Schriften 1602/1611 Dioptrice.) Hrsg. von MAX CASPAR und FRANZ HAMMER. München: C. H. Beckschе Verlagsbuchhandlung 1941. 522 S. Preis brosch. RM. 15.—.

Dieser Band der schönen Gesamtausgabe vereinigt eine Reihe kleinerer Schriften, die KEPLER während seines Aufenthaltes in Prag (1600—1612), auf dem Höhepunkt seiner Schaffenskraft, verfaßt hat. Sie ergänzen die großen Werke: Mysterium Cosmographicum (1596), Astronomiae Pars Optica (1604), De Stella Nova (1606) und Astronomia Nova (1609), die in den Bänden 1—3 der neuen Ausgabe bereits vorliegen, und vermitteln mit ihnen zusammen ein geschlossenes Bild des geistigen Schaffens KEPLERS bis zu seinem 40. Lebensjahr, zu dessen völliger Abrundung aller-

dings noch die zahlreichen Briefe gehören, die uns hoffentlich bald in gleich vollkommener Form dargeboten werden.

Einen großen Raum nehmen in diesen Schriften die Auseinandersetzungen mit der Astrologie ein. „De Fundamentis Astrologiae certioribus" (1601), „Antwort auf Röslini Diskurs" (1609) und „Tertius Interveniens" (1610) haben dieses Thema fast ausschließlich zum Gegenstand; aber auch der „Bericht vom Kometen 1607" befaßt sich neben der Beschreibung der Erscheinung sehr eingehend mit ihrer möglichen Bedeutung für die Zeitereignisse. Besonders reizvoll sind die drei zuletzt genannten, für einen größeren Leserkreis bestimmten und daher in deutscher Sprache abgefaßten Schriften, in denen neben dem Scharfsinn der logischen Darlegungen der feine Witz bestrickt mit dem KEPLER gelegentlich dem Gegner zu Leibe rückt, und den er nicht selten in recht kräftige Worte seiner schwäbischen Muttersprache kleidet.

Versucht man aus diesen Schriften eine Antwort zu bekommen auf die Frage, wie denn nun KEPLER eigentlich zur Astrologie gestanden habe, so wird man zunächst vielleicht etwas enttäuscht sein über das leicht schillernde Bild, dem man begegnet. Wenn KEPLER auf der einen Seite mit kaum mißverständlicher Deutlichkeit gegen die landläufige Sterndeuterei zu Felde zieht, so bekennt er sich doch auf der anderen ebenso klar zu dem Glauben an eine schicksalhafte Verflechtung des Geschehens auf der Erde mit dem Lauf der Gestirne, daß man ihn auf Grund seiner eigenen Äußerungen ebensowohl als Kronzeugen für wie gegen die Astrologie anführen kann. In der gleichen Brust wohnen nebeneinander und bilden noch eine Einheit die Seelen des exakten Naturforschers der kommenden Jahrhunderte und des gläubigen Mystikers des Zeitalters der Religionskämpfe. Vielleicht ist eine der schönsten Formulierungen, die KEPLER für sein wissenschaftlich-religiöses Glaubensbekenntnis gefunden hat, dieser Satz aus dem Tertius Interveniens: „Wie nun Gott der Schöpffer gespielet hat / also hat er auch die Natur / als sein Ebenbildt lehren spielen / und zwar eben das Spiel / das er jhr vorgespielet."

Neben diesen Auseinandersetzungen mit der Astrologie findet man die folgenden Gelegenheitsschriften: De Solis deliquio, im wesentlichen ein Appell an alle Beobachter der Sonnenfinsternis von 1605, ihm ihre Beobachtungen zur Verfügung zu stellen; dann einen Bericht über die vermeintliche Beobachtung eines Merkurdurchgangs (in Wirklichkeit eines großen Sonnenflecks), der noch ganz die Begeisterung nachklingen läßt, in die KEPLER durch seine Entdeckung versetzt worden war; eine reizvolle gelehrte Plauderei über die Sechseckgestalt der Schneeflocken, mit mehr dialektischer Gegenüberstellung von Deutungsmöglichkeiten als wirklichen Erklärungen; die berühmte „Dissertatio cum Nuncio Sidereo", die glänzende Verteidigungsschrift für GALILEI, in der die ganze warme Menschlichkeit des auch für fremdes Verdienst begeisterungsfähigen Schwaben sich abhebt von der kalten Eigensucht des italienischen Gelehrten, der nie eine Antwort gefunden hat auf die werbende Hingabe KEPLERS, und der dessen Wunsch, ihm ein Fernrohr zur Verfügung zu stellen, das auch ihm die Schönheiten des neu entdeckten Himmels mit eigenen Augen zu beschauen gestatte, geflissentlich überhört. Erst auf dem Umwege über den Kurfürsten Ernst von Köln hat KEPLER Ende August 1610 ein von GALILEI stammendes Fernrohr für einige Tage leihweise erhalten und damit endlich selbst den Mond und die Monde des Jupiters beobachten können. Das Ergebnis seiner Beobachtungen mit diesem Instrument teilt er in der „Narratio de observatis 4 Jovis Satellitibus" mit.

Als letzte der in dem vorliegenden Band aufgenommenen Schriften erscheint, im Titel ob ihrer Bedeutung besonders aufgeführt, die „Dioptrice" (1611), in der KEPLER die Theorie der Linsen und des Fernrohres entwirft und damit das grundlegende Lehrbuch der Dioptrik — so bezeichnet KEPLER in eigener Wortschöpfung die Optik brechender Medien — schafft, obwohl es bei seinem Erscheinen kaum sichtbare Beachtung gefunden hat und noch lange Zeit nachher anscheinend zum Teil bewußt übersehen worden ist.

Die Nachberichte der Herausgeber vermitteln wie bei den bereits erschienenen Bänden in vorbildlicher Form das Verständnis der einzelnen Abhandlungen in ihrem sachlichen und historischen Zusammenhange. Sie zu lesen ist, selbst losgelöst von dem Werk, Belehrung und Genuß. Die buchtechnische Ausstattung ist unverändert bis auf das Fehlen des Halbpergamenteinbandes, der nachgeliefert werden soll, „sobald es die Verhältnisse gestatten".

H. KIENLE, Potsdam.

GREINACHER, H., **Ergänzungen zur Experimentalphysik.** Einführende exakte Behandlung physikalischer Aufgaben, Fragen und Probleme. Wien: Springer 1942. X, 181 S., 79 Abb. Preis geh. RM 6.60.

Das kleine Buch ist eine bemerkenswerte Neuerscheinung der physikalischen Lehrbuchliteratur. Es soll nach den Worten des Verfassers „nicht eine mit physikalischen Beispielen versehene Einführung in die Mathematik der Naturwissenschaften darstellen, sondern ein Physikbuch, bei dem die Mathematik nur das notwendige Beiwerk zu einer exakten Behandlung bildet". Mit wesentlich elementaren mathematischen Hilfsmitteln werden zahlreiche ausgewählte Probleme aus der Mechanik, Akustik, Wellenlehre, Thermodynamik, geometrischen Optik, aus der Elektrizität und dem Magnetismus sowie der Radiologie behandelt. Zum Teil sind es wohlbekannte Fragen. Als Beispiele seien angeführt: der CARNOTsche Kreisprozeß, die CLAPEYRONsche Gleichung, c_p/c_v nach CLÉMENT und DESORMES, der FERMATsche Satz, eine Reihe von Potentialproblemen der Elektro- und Magnetostatik. Bisweilen ist die Fragestellung und Behandlung recht originell und pädagogisch geschickt, z. B. bei der Erklärung der Beziehung zwischen Fernrohr und Mikroskop oder zwischen der Linsen- und Spiegelgleichung, bei der Berechnung der Leuchttemperatur einer Glühlampe aus dem STEPHAN-BOLTZMANNschen Gesetz oder der Reihen- und Parallelschaltung von Stromquellen. Die wenigen Probleme aus der Radiologie scheinen dem Ref. dagegen ein etwas zu spezielles Interesse zu haben, auch ist die Darstellung hier zum Teil zu knapp. Die Raumladungsgleichung wird z. B. ohne jede Erklärung hingeschrieben. Im ganzen werden nur vereinzelte Dinge zur Behandlung unmittelbar im Anschluß an die einführende Physikvorlesung geeignet sein; dagegen enthält das Buch viel Anregung für Ergänzungsvorlesungen im 3. und 4. Semester, wie sie an keiner Universität fehlen sollten. Allerdings ist eine quantitative Bestätigung der gewonnenen Erkenntnisse durch den Versuch ein wesentlicher Bestandteil solcher Vorlesungen, die ein Bindeglied zwischen der mehr qualitativen einführenden Vorlesung und der reinen Theorie bilden sollen. Der Verfasser weiß aus eigener Unterrichtserfahrung, wie sehr sogar der fortgeschrittene Student, der sich näher mit Theorie befaßt hat, erst bei einer solchen wirklichkeitsnahen Behandlung

und Darstellung der Probleme ihren eigentlichen physikalischen Gehalt erfaßt. Es wäre deshalb dem guten Buch GREINACHERS zu wünschen, daß der Verfasser es nach der experimentellen Seite etwas ergänzt, hat er doch selbst mancherlei hübsche Vorlesungsversuche gerade für derartige Zwecke ausgearbeitet. Daß in der Elektrizität durchwegs die alten Maßsysteme benutzt werden, scheint dem Ref., obwohl er sich in dieser an sich unwesentlichen Frage neutral verhält, kein Nachteil zu sein. Jede Wissenschaft ist nun einmal historisch mehr oder weniger gebunden. Es ist nicht möglich, Originalarbeiten selbst aus der neueren Zeit zu lesen, wenn man von den sog. absoluten Maßsystemen keine Ahnung hat, wogegen es leicht ist, sich in die von manchen Autoren bevorzugte neuere Schreibweise hineinzufinden, wenn man jene beherrscht. Es war vermutlich die gleiche Erwägung, die G. Joos veranlaßt hat, in seinem schönen Lehrbuch der theoretischen Physik beide Schreibweisen nebeneinander zu stellen, wo es angängig war. E. RÜCHARDT.

BOHNE-FISCHER, HEDWIG, **Ostpreußens Lebensraum in der Steinzeit.** Eine vorgeschichtliche Landeskunde. (Schriften der Albertus-Universität, hrsg. v. Ostpreußischen Hochschulkreis. Naturwissenschaftl. Reihe Bd. 2.) Königsberg (Pr.): Ost-Europa-Verlag 1941. VII, 156 Seiten, 44 Textabb. u. Karten. Preis geh. Hlbl. RM 7.50.

Mit viel Fleiß hat die Verfasserin alle Unterlagen über die vorgeschichtliche Besiedlung und die Entwicklung der Vegetation in Ostpreußen gesammelt und miteinander in Beziehung gebracht. Das Ziel allerdings, damit eine „vorgeschichtliche Landeskunde" Ostpreußens zu schaffen, wie im Untertitel angekündigt ist, kann wohl kaum als erreicht angesehen werden, da von einer unklaren Vorstellung des Wesens der Geographie ausgegangen wird. Das Werk stellt nicht — wie angestrebt — eine prähistorische Landeskunde, sondern eine Siedlungs- und Vegetationsgeschichte — bestenfalls eine Landschaftsgeschichte — Ostpreußens in der Steinzeit dar. Dieser Irrtum über das Wesen der Geographie zeigt sich schon im Allgemeinen Teil, in dem die Entwicklung der einzelnen Landschaftselemente (Oberflächenformen, Boden, Bewässerung, Pflanzendecke, Klima, Tierwelt und Wirtschaft des Menschen) für die Postglazialzeit bis zum Ende der Bronzezeit geschildert wird, nicht aber deren das Landschaftsbild ergebendes Zusammenspiel zu charakteristischen Zeitpunkten in der Alt-, Mittel- und Jungsteinzeit. Auch der Besondere Teil stellt nur eine regionale Landschaftsgeschichte, nicht aber eine Serie zeitlich aufeinanderfolgender Querschnitte dar, in denen das jeweilige Landschaftsbild mit seinen räumlichen Unterschieden geschildert werden müßte. Die Steinzeit mit ihrem tief einschneidenden Wechsel der Landschaftselemente und den dadurch mitbedingten wirtschaftlichen Umwälzungen umfaßt einen viel zu großen Zeitraum, als daß dieser als Gesamtheit geographisch betrachtet werden könnte; vielmehr müßten mindestens drei Querschnitte durch die steinzeitliche Entwicklung gelegt werden und das jeweilige Landschaftsbild zu diesen Zeitpunkten gewissermaßen als Momentaufnahme innerhalb der lebendigen, in ständigem Wechsel begriffenen Entwicklung beschrieben werden. Das vorliegende Werk stellt daher nur die Geschichte eines bestimmten, weit zurückliegenden und sehr umfangreichen Zeitraumes dar, wobei allerdings dem sonst oft zugunsten einer Darstellung des Menschen und seiner Kultur vernachlässigten Komplex „Umwelt" eine sehr begrüßenswerte Aufmerksamkeit geschenkt wird.

Die auch in der Einleitung zutage tretende Unklarheit der Verfasserin über das Wesen und die Methoden der Geographie sowie den leider schon zum Schlagwort herabgesunkenen Begriff „Lebensraum" beeinträchtigt natürlich keineswegs das Verdienst, die in der Lage der Siedlungen zum Ausdruck kommenden Wechselwirkungen zwischen Natur und Mensch für die Steinzeit Ostpreußens aufgehellt zu haben. Wenn auch die von manchen Zufälligkeiten abhängige Fundhäufigkeit in keiner vollständigen Korrelation zu der tatsächlichen Siedlungsdichte steht, so zeigen die „Siedlungskarten" (Abb. 43 und 44; richtiger wäre wohl der Ausdruck „Fundkarten") und Schilderungen einzelner Fundstellen doch schon die durch die verschiedene Landesnatur bedingte Bevorzugung oder Meidung einzelner Räume und Landschaften in den verschiedenen Perioden der Steinzeit. Da der Mensch der Vorzeit dank seiner hochentwickelten Beobachtungsgabe seine Siedlungen in der ihm am meisten entsprechenden Umwelt (Mikroklima, Lage zum Wirtschaftsland, Untergrund) anlegte, letztere sich aber ebenso wie seiner Wirtschaftsweise wandelte, kann man in Ostpreußen Wanderungen des Schwerpunktes der Besiedlung feststellen. Während in der Altsteinzeit Jäger und Fischer in spärlicher Zahl das Land durchstreiften, führten die günstigen Daseinsbedingungen der Mittelsteinzeit zu einer dichteren Besiedlung vor allem im Seengebiet des Preußischen Landrückens und in der mittelostpreußischen Grundmoränenlandschaft. Die mesolithischen Fischer und Jäger bevorzugten dabei zur Anlage ihrer Siedlungen die sandigen Böden der trockenen, hochwasserfreien Uferränder fischreicher kleiner Seen, die mit reichem Haselunterholz durchsetzte Kiefernwälder trugen; durch Anlehnung an Wasserflächen suchte man die Siedlungen nach möglichst vielen Seiten hin zu schützen. In der mittelostpreußischen Grundmoränenlandschaft wurden die Siedlungen auch auf nicht zu schweren Lehmböden angelegt. Der Wald lieferte den der eurasischen Kultur angehörenden Siedlern Wild, Beeren und Früchte und diente dem Vieh zur Weide.

In der Jungsteinzeit änderte sich das Klima, damit auch das Landschaftsbild und die Wirtschaftsweise des Menschen. Das Klima wurde feuchter und kühler, die Wasserbecken verlandeten allmählich, das Grundwasser stieg und bewirkte eine Vernässung der tiefer liegenden Gebiete. Dementsprechend wurden nun zur Anlage von Siedlungen Geländestellen bevorzugt, die für den Ackerbau günstige schwere Böden, für die Viehhaltung geeignete Eichenmischwälder und trockene Hochufer an schützenden Wasserläufen aufwiesen. In dem seenreichen Gebiet des Preußischen Landrückens ist teilweise ein zähes Festhalten an den alten Siedlungsstellen zu beobachten. Der Schwerpunkt der Besiedlung durch die nordisch-indogermanischen Viehzüchter und Ackerbauern der Jungsteinzeit lag an der Steilküste des Frischen Haffs, auf der Kurischen Nehrung und im Seengebiet des Preußischen Landrückens.

Aus der Lage der Siedlungen und den Ergebnissen der pollenanalytischen Untersuchungen von H. Gross glaubt Verfasserin schließen zu können, daß entgegen den Ansichten von LA BAUME und R. GRADMANN die steinzeitlichen Bewohner Ostpreußens Waldsiedler waren, deren Wirtschaftsformen besonders in der Jungsteinzeit lebensnotwendig mit dem Walde verbunden waren.

Außer einer reichhaltigen Schriftenangabe enthält das Buch ein vollständiges Verzeichnis aller bisherigen Steinzeitfunde und zwei Tafeln, die einen wertvollen Überblick über die landschaftsgeschichtliche Entwicklung Ostpreußens in den letzten 20000 Jahren geben.

WALTER LORCH, Berlin.

Herausgeber und verantwortlicher Redakteur: FRITZ SÜPFLE, Berlin W 9.
Springer-Verlag in Berlin W 9. — Druck der Spamer A.-G. in Leipzig